MUSKELPHYSIOLOGIE

EINFÜHRENDE BEMERKUNGEN

In diesem Versuch sollen grundlegende Eigenschaften von zwei Vertebratenmuskeln, dem quergestreiften Skelettmuskel von Frosch und Mensch und dem Herzmuskel des Frosches, besprochen und experimentell erarbeitet werden. Im Mittelpunkt der theoretischen Vorbereitung auf den Versuch steht die vergleichende Betrachtung der physiologischen Eigenschaften bei der Erregungsentstehung und Erregungsfortleitung der beiden Muskelarten. Im praktischen Teil dieses Versuchs sollen bei der Skelettmuskulatur die elektromechanischen Eigenschaften anhand des Kontraktionsverhaltens von Krallenfrosch-Präparaten sowie durch die Registrierung des Elektromyogramms (EMG) eines menschlichen Handmuskels untersucht werden. Am Vertebraten-Herz sollen Versuche zur Pharmakologie der Regulation des Herzschlages exemplarisch durch die Applikation verschiedener Pharmaka auf ein Krallenfrosch-Präparat untersucht werden.

THEORETISCHE VORAUSSETZUNGEN

Folgende Kenntnisse aus der Vorlesung "Einführung in die Tierphysiologie" und aus der Wirbeltieranatomie sind für eine erfolgreiche Durchführung des Kurses unerlässlich:

Zum quergestreiften Skelettmuskel

Anatomie: Hierarchischer Aufbau von der organischen zur subzellulären Ebene. Quergestreifte Muskelfasern mit motorischer Endplatte, Sarkolemm, Myofibrillen, transversalen Tubuli (T-System), longitudinalen Tubuli (sarkoplasmatisches Retikulum), Sarkomer, Z-Scheibe, A- und I-Bande, H-Zone, Actin, Myosin, Tropomyosin, Troponin.

Neuromuskuläre Endplatte: Bau, Endplattenpotential, Transmitterwirkung, Abbau des Acetylcholins, synaptische Latenz, neuromuskuläre Blockade, Entstehung und Weiterleitung des Aktionspotentials.

Molekulare Mechanismen der Kontraktion: elektromechanische Kopplung, Muskelaktionspotential, Verkürzung der Sarkomere, Querbrücken, Rolle der Ca^{2+}-Ionen, ATP, Calciumpumpe, Erregungsleitung, neurogener Tonus, myogener Tonus.

Wirkung elektrischer Reize: Elektrotonus, anodische und kathodische Reizung, Depolarisation, Hyperpolarisation.

Elektromyogramm (EMG): Entstehung, Motoneuron, motorische Einheit, Muskelfasertypen, Rekrutierung, Adduktion, Abduktion, Flexion, Extension.

Mechanik: Regulation der Muskelkraft, Summation und Rekrutierung, unvollständiger und vollständiger Tetanus, isometrische, isotonische, auxotonische Kontraktion.

Zur Herzphysiologie

Anatomie: *Kreislaufsystem bei Amphibien (Frosch) und Säuger (Mensch), Bau von Amphibien- und Säugerherz*, sympathisches und parasympathische Innervation des Säugerherzen, Morphologie der Herzmuskelzellen im Vergleich zu Skelettmuskelzellen und zu glatten Muskelzellen.

Erregungsentstehung und Weiterleitung: Autorhythmische Zentren, Mechanismus der Erregungsbildung, Sinusknoten, Atrioventrikularknoten, erregungsleitende Strukturen, Form des Aktionspotentials der Zellen im Schrittmacher (Schrittmacherpotential) und im Arbeitsmyokard, Refraktärperiode, langsame diastolische Depolarisation, Sympathikus- und Vaguswirkung, elektromechanische Kopplung.

Methodische Kenntnisse, die im Praktikum erworben werden sollen:
Herstellen eines "in-situ-Präparats" eines Nerv-Muskelpräparates und des Froschherzens. Bedienen eines elektrischen Reizgerätes. Registrieren der Skelettmuskel- bzw. Herzkontraktionen (Mechanogramme) mit Biegestabtransducern. Registrieren des EMGs eines Handmuskels. Darstellen der Signale mittels Oszilloskop (Speichern, Triggern, Bestimmen von Signalamplitude, Signaldauer und Signalfrequenz) sowie die Dokumentation der Signale über den angeschlossenen Grafik-Drucker.

LITERATUR

SCHMIDT/THEWS: Einführung in die Physiologie des Menschen, Springer. -- Hervorragendes Lehrbuch für die gesamte allgemeine Physiologie und die Physiologie des Menschen. Leider ohne vergleichende tierphysiologische Aspekte.

ECKERT/RANDALL: Animal Physiology, Freeman. -- Gutes Lehrbuch für allgemeine und vergleichende Physiologie. (Deutsche Übersetzung: Thieme)

MÜLLER: Tier- und Humanphysiologie, Springer -- Gutes Lehrbuch für allgemeine und vergleichende Physiologie

PRÄPARIERBESTECK

2 feine Pinzetten (wichtig), 1 feine spitze Schere (wichtig), 1 größere Schere

PRÄPARATION DES NERV-SKELETTMUSKEL- UND DES HERZMUSKEL-PRÄPARATES

wird vom Kursbetreuer durchgeführt

Ein Krallenfrosch (Xenopus spec.) wird mit einer Guillotine dekapitiert und das Rückenmark durch Einführen einer Sonde in den Rückenmarkskanal zerstört. Anschließend wird der Frosch enthäutet und der Körper mit Ringerlösung abgespült. Nach diesem Arbeitsgang sollten auch alle Instrumente und die Hände sorgfältig gereinigt werden, um das giftige Hautsekret zu entfernen.

Von den beiden Frösche werden nun zunächst "in-situ"-Präparate angefertigt: 1 Unterkörper mit Extremitäten erhalten die Studenten im "Nerv-Versuch", das zweite Beinpaar sowie die beiden Torsi verbleiben im "Muskel-Versuch", wobei jede Gruppe jeweils ein Bein (Nerv-Muskel-Präparat; siehe Versuchsteil I) und einen Torso (Herz; siehe Versuchsteil II) erhält.

ACHTUNG: Unterkörper jetzt noch nicht halbieren!! Erst nachdem die im Folgenden beschriebene Präparation durchgeführt wurde!!

VERSUCHSTEIL I
Physiologische Untersuchungen an der Skelettmuskulatur

Weitere Präparation des Nerv-Muskel-Präparates

Öffnen Sie den Thorax und entfernen Sie die Eingeweide. Suchen Sie zunächst den Ischiadicus-Nerv, und knoten Sie an den beiden Nervenstümpfe möglichst nah am Rückenmark einen Bindfaden an. Schieben Sie dazu vorsichtig eine kleine, stumpfe Pinzette unter den Ischiadicus kurz hinter seinem Austritt aus dem Wirbelkanal. Ziehen Sie einen mit Froschringer angefeuchteten Zwirnsfaden mit der Pinzette unter dem Nerven durch. Knoten Sie den Faden fest um den Nerv, und schneiden Sie vorsichtig das kürzere Ende des Fadens dicht am Knoten ab. Der Faden dient später als Haltegriff. Dehnen Sie oder fassen Sie den Nerven niemals mit den Fingern oder einer Pinzette an. Durchtrennen Sie den Nerven proximal vom Knoten mit einer kleinen Schere. Heben Sie den Ischiadicus mit Hilfe des Fadens an, ohne ihn zu dehnen. Entfernen Sie mit einer kleinen Schere alle restlichen Bindegewebs-Kontakte, und durchtrennen Sie Kollaterale direkt am Nerven, indem Sie vom Nerven weg schneiden. Legen Sie den Nerven auf den zugehörigen Oberschenkel zurück. Verfahren Sie nun in gleicher Weise auf der anderen Seite.

Erst jetzt halbieren Sie das Becken durch einen Schnitt in der Medianebene nach Anweisung des Kursbetreuers. Jede Gruppe fährt nun an einem der beiden Froschbeine mit der Präparation fort.

Die dorsale Oberschenkelmuskulatur wird nun mit den Daumen auseinandergedrückt, bis der Nerv sichtbar wird. Präparieren Sie den Nerven über die ganze Länge des Oberschenkels von Blutgefäßen und Bindegewebe frei. Beim Anheben des Nervs mit dem Haltefaden (nicht dehnen!) können seitlich abgehende Nervenäste mit einer kleinen Schere durchtrennt werden. Beim Abschneiden sollte die Schere wieder vom Nerven wegweisen. Wenn Sie am Kniegelenk angelangt sind, wenden Sie sich zunächst dem M. gastrocnemius zu: Einen Faden unter der Achillessehne durchziehen und diese sehr fest anbinden. Die Sehne distal des Sesambeines durchschneiden. Den M. gastrocnemius mit dem Faden sehr vorsichtig anheben und bis zum Ansatz am Femurstumpf vom Unterschenkel ablösen. Dann den Unterschenkel um etwa die Hälfte kürzen und die Tibia mit den restlichen Muskeln abschneiden. Weiterhin präparieren Sie alle Oberschenkelmuskeln bis zum Kniegelenk ab und schneiden den Femur in Beckennähe mit einer scharfen Schere durch, so dass ein ca. 1-2 cm langer Femurstumpf übrigbleibt.

Das Nerv-Muskel-Präparat muss während des ganzen Versuchs mit Ringerlösung feucht gehalten werden!!

Versuchsaufbau:

Parallel zur Präparation des Nerv-Muskelpräparates sollte schon der Versuchsaufbau verkabelt werden, damit sofort nach Fertigstellung der Präparation mit den Messungen begonnen werden kann. Eine nahezu detailgetreue Wiedergabe der Verschaltung finden Sie in Abbildung 1.

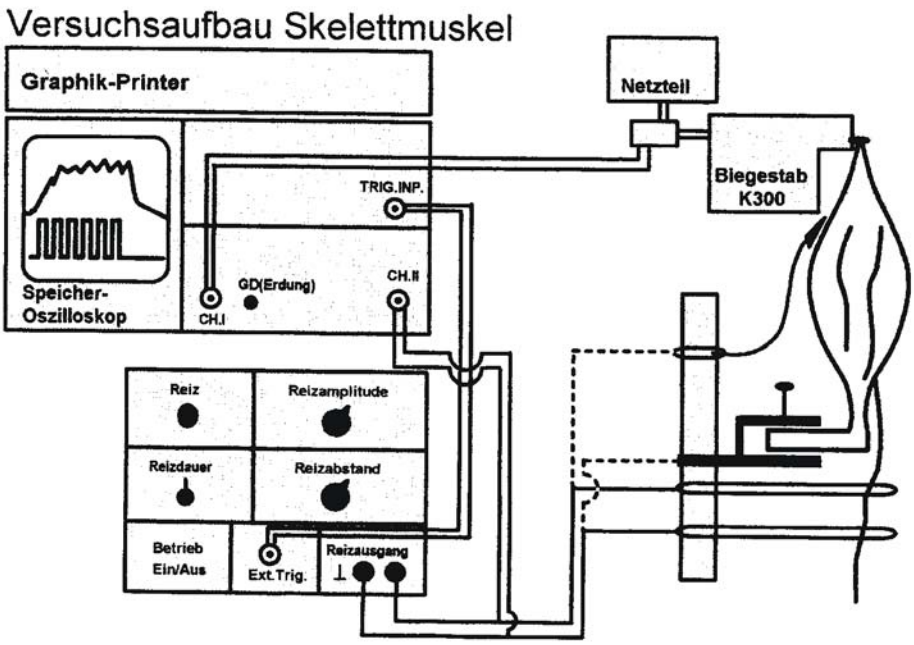

Abb. 1 - Versuchsaufbau

1. Kontraktionsverhalten des M. gastrocnemius des Frosches

Das Nerv-Muskel-Präparat wird mit dem Femurstumpf in die Knochenklemme eingespannt und mit dem an der Achillessehne befestigten Fadenstück an einem Biegestabtransducer befestigt. Der Nervenstumpf wird vorsichtig über die Reizelektroden gelegt (Kathode muskelnah). Das Präparat, vor allem der Nerv, muss fortwährend mit Ringer feucht gehalten werden. Wenn gerade keine Messungen durchgeführt werden, kann der Nerv an den Muskel angelegt werden, um ihn vor dem Austrocknen zu schützen.

Durchführung und Auswertung:

Am Reizgerät wird ein Reizabstand von 5 s, eine Reizdauer von 0,2 ms und eine Reizamplitude von 10 mV eingestellt. Sämtliche Reizparameter sollten am Oszilloskopschirm überprüft werden. Wählen Sie dazu sinnvolle Einstellungen für die Zeitachse und die Spannungsachse.

A - Abhängigkeit der Kontraktionskraft von der Reizamplitude
Bestimmen Sie ausgehend von 10 mV die Reizamplitude, bei der Einzelreize den Muskel gerade zur Kontraktion bringen (Minimalreizamplitude). Erhöhen Sie dann stufenweise die Reizamplitude, bis maximale Kontraktionsamplituden erreicht werden (Maximalreizamplitude).

Registrieren Sie jeweils 5 Einzelzuckungen mit dem Oszilloskop für jede eingestellte Reizamplitude. Zeichnen Sie ein Diagramm, in dem die Kontraktionsamplitude (-kraft) in Abhängigkeit von der Reizamplitude dargestellt ist. Erklären Sie das Ergebnis unter dem Gesichtspunkt der "Alles-oder-Nichts Regel".

B - Abhängigkeit der Kontraktionskraft von der Reizfrequenz
Reizen Sie den Muskel mit der Maximalreizamplitude für jeweils 5 sec mit steigenden Reizfrequenzen von 1, 2, 5, 10, 20 und 50 Hz (welche Reizabstände [s oder ms] müssen dafür eingestellt werden?). Registrieren Sie mit dem Oszilloskop sowohl die Reize wie auch das Mechanogramm (Oszilloskop im Speicherbetrieb und Ausdrucken mit dem Graphikprinter).

Ermitteln Sie die Reizfrequenz, bei der erstmals ein unvollständiger Tetanus eintritt, sowie die Grenzfrequenz für den vollständigen Tetanus.

C - Abhängigkeit der Kontraktionskraft von der Ausgangslänge
Messen Sie die Länge des Muskels. Reizen Sie den Muskel mit der Maximalreizamplitude und registrieren Sie jeweils 5 Einzelzuckungen mit dem Oszilloskop. Führen Sie diesen Versuch bei verschiedenen Ausgangslängen durch. Zeichnen Sie ein Diagramm, in dem die Kontraktionsamplitude (-kraft) in Abhängigkeit von der Ausgangslänge dargestellt ist. Mit welcher Ausgangslänge würden Sie als Konstrukteur diesen Muskel in das Skelettsystem des Frosches einbauen.

Machen Sie sich klar (und diskutieren Sie in Ihrem Protokoll), welche physiologischen Vorgänge zwischen der elektrischen Reizung am Nervenstumpf und der Kontraktion des Muskels ablaufen.

Überlegen Sie, welche Art von Kontraktion (isometrisch, isotonisch oder was) in diesem Experiment vorliegt. Die Auslenkung des Biegestabs kann für diese Überlegung vernachlässigt werden.

Hinweis: Sollte der Zustand des Nerv-Muskelpräparates so schlecht sein, dass die Reizung am Nervenstumpf unmöglich wird, so können Sie das vorgeschriebene Programm auch mit direkter Muskelreizung durchführen. In diesem Fall wird eine Elektrode in den Muskel eingestochen, die zweite Elektrode leitet über die Knochenklemme zu. Die Reizdauer sollten Sie dann auf 5 ms verlängern.

2. Messen der Latenzzeit für die Kontraktion bei elektrischer Reizung am Nervenstumpf bzw. direkt am Muskel

Hierzu wird einmal der Nervenstumpf und dann der Muskel direkt gereizt. In diesem Fall wird die Elektrode in den Muskel eingestochen, die zweite Elektrode hat Kontakt über die Knochenklemme. Die Reizdauer bei Reizung über den Nerv beträgt wieder 0,2 ms, bei Reizung direkt am Muskel 5 ms.

Durchführung und Auswertung:

Reizen Sie mit 'Einzelreizen' (Reizabstand von 5 s einstellen) von ca. 300 mV am Nervenstumpf, und bestimmen Sie am Oszilloskop die Latenz zwischen Reizbeginn und Beginn der vom Transducer angezeigten Kontraktion. Überlegen Sie bitte zuvor, in welchem Zeitbereich Sie die Latenzen erwarten, und stellen Sie die Zeitachse am Oszilloskop entsprechend in einen sinnvollen Bereich.

Wiederholen Sie diesen Versuch mit elektrischer Reizung direkt am Muskel (Amplitude hier ca. 3 V: warum?). Auch hier bestimmen Sie die Latenz zwischen Reizbeginn und Kontraktion.

Vergleichen Sie die Latenzen, und diskutieren Sie die Ergebnisse in Ihrem Protokoll.

VERSUCHSTEIL II
Physiologische Untersuchungen am Froschherzen

Weitere Präparation des Froschherzen

Der Froschtorso wird mit der Bauchseite nach oben in die Präparierschale gelegt und an den Vorderextremitäten und seitlich am Thorax festgesteckt. Durch Anheben des Sternums mit einer Pinzette wird das Herz im Thorakalraum sichtbar. Dann Brust und Bauchhöhle eröffnen, schneiden Sie links und rechts in Richtung des Kopfes, trennen Sie Coracoid und Clavicula ab, und entfernen Sie das Brustbein mit den anliegenden Gewebeteilen. Nun liegt das Herz frei, Präparat mit Ringerlösung reinigen. Den Herzbeutel eröffnen und Herz und Gefäße sorgfältig von allen Resten des Perikards befreien. Schließlich das unter dem Herzen liegende Herzbändchen durchschneiden.

Versuchsaufbau

Parallel zur Präparation des Froschherzens sollte schon der Versuchsaufbau verkabelt werden, damit sofort nach Fertigstellung der Präparation mit den Messungen begonnen werden kann. Eine nahezu detailgetreue Wiedergabe der Verschaltung finden Sie in Abbildung 2.

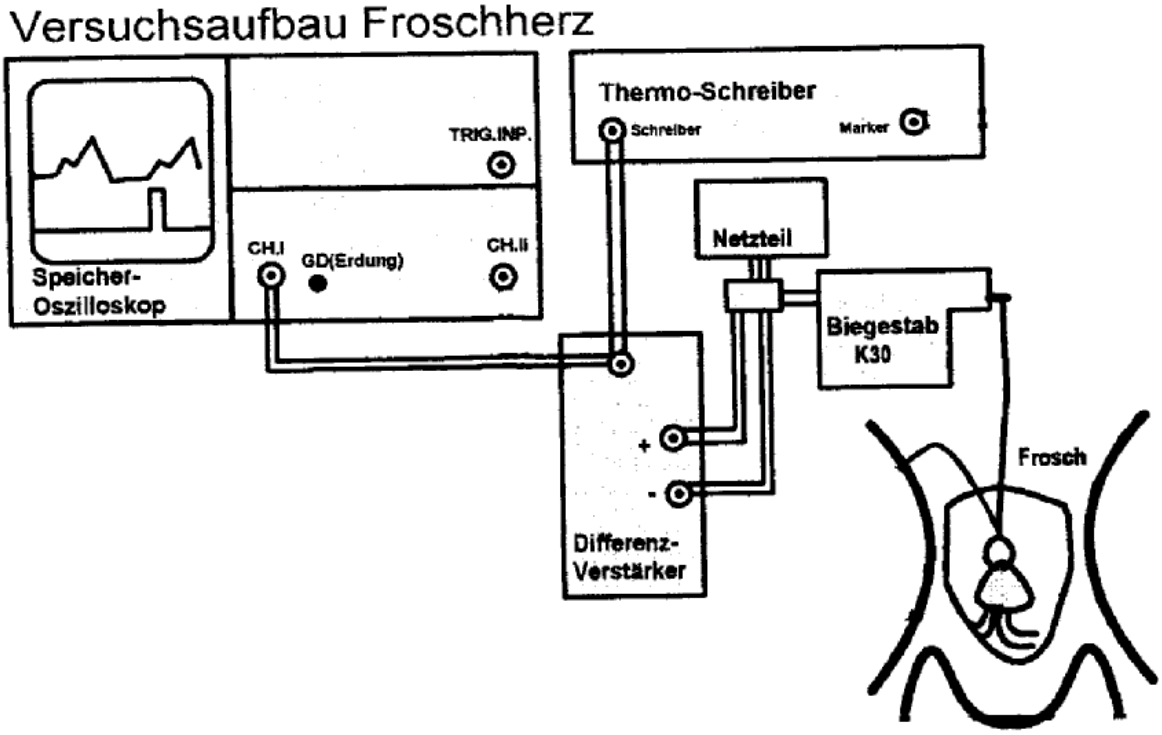

Abb. 2 - Versuchsaufbau

1. Beobachtung der Herzbewegung und Registrierung eines Mechanogramms

Durchführung und Auswertung:

Identifizieren Sie zunächst die wichtigsten Herzabschnitte: Sinus venosus, Vorkammern, Ventrikel, Truncus arteriosus, Aortenbogen.

Beobachten Sie die Kontraktionsfolgen der einzelnen Herzabschnitte. Wo beginnt die Kontraktionswelle, wo endet sie?

Methode:

In allen folgenden Versuchsteilen dient das Mechanogramm der Froschherz-Kontraktion als Messparameter. Dazu muß der Ventrikel mit dem Biegestabtransducer verbunden werden. Heben Sie die Ventrikelspitze vorsichtig an, und haken Sie vorsichtig die Herzklammer, die über einen Faden mit dem Biegestabtransducer verbunden ist, in die äußerste Spitze des Ventrikels ein (siehe Versuchsaufbau, Abb. 2). Justieren Sie jetzt die Versuchsapparatur so, daß der Herzklammerdraht senkrecht über dem Herzen nach oben zum Biegestabtransducer verläuft. Das ist wichtig, um eine gute Übertragung der Herzkontraktion auf den Transducer und damit eine saubere Registrierung zu bekommen. Stellen Sie das Mechanogramm nun auf dem Oszilloskopschirm dar. Wählen Sie dazu sinnvolle Einstellungen für die Zeitachse und die Spannungsachse.

Denken Sie bitte daran: das Herz muß immer mit Ringerlösung feucht gehalten werden!!

Versuchsdurchführung:

Speichern Sie auf dem Oszilloskopschirm das Mechanogramm, so daß 2-3 Herzzyklen registriert sind. Machen Sie eine Zuordnung von beobachtetem Kontraktionsverlauf (z.B. Kontraktion Atrium -Ventrikel - Atrium - Ventrikel....usw.) und registriertem Mechanogramm. Diskutieren Sie den Verlauf des Signals. Mit dem angeschlossenen Grafik-Drucker können Sie auch längere Phasen des Mechanogramms aufzeichnen.

Beträufeln Sie das Herz immer wieder mit Ringerlösung!

Auswertung:

Ordnen Sie den registrierten Mechanogrammen die Atrium- bzw. Ventrikel-Kontraktionen zu und bestimmen Sie die Herzschlagfrequenz.

Belegen Sie Ihre Messungen durch entsprechende Ausschnitte der Aufzeichnungen in Ihrem Protokoll.

2. Einfluß von Atropin, Noradrenalin, und Acetylcholin auf die Herztätigkeit

Bei Wirbeltieren wirken die Transmitter des postganglionären Sympathikus-Nervensystems (Noradrenalin) und des parasympathischen Vagus-Nerven (Acetylcholin) auf die autorhythmischen

Zentren des Herzens und zum Teil auch auf das Arbeitsmyokard. Im folgenden Versuchsabschnitt soll die Wirkungsweise dieser Pharmaka untersucht werden.

Versuchsdurchführung:

Die Wirkungen der Pharmaka auf das Froschherz werden über das Mechanogramm registriert. Zuerst wird mit dem Schreiber eine kurze Phase des Mechanogramms bei normaler Herztätigkeit registriert. Dann wird während der Registrierung mit einer Pipette die vorbereitete Adrenalinlösung (oder ein entsprechender Agonist) auf das Herz aufgetropft (Zeitpunkt auf der Schreiberregistrierung markieren) und die Veränderung im Mechanogramm registriert. Anschließend muß gut mit Ringer gespült werden.

Sobald das Herz wieder seinen Normalrhythmus erreicht hat, mit der Registrierung fortfahren und die vorbereitete Acetylcholinlösung auf das Herz auftropfen. Sollte ein Herzstillstand eintreten (keine Panik!!), wird die Atropinlösung auf das Herz aufgetropft, um die Herztätigkeit wieder anzuregen. Danach wieder extensiv mit Ringer spülen.

Auswertung:

Suchen Sie typische Abschnitte des Mechanogramms für Ihr Protokoll und diskutieren Sie die Adrenalin-, Acetylcholin- und Atropinwirkung. Erläutern Sie ausführlich die zugrundeliegenden pharmakologischen und physiologischen Vorgänge.

VERSUCHSTEIL III
Elektromyogramm (EMG) eines Handmuskels

Die Fragestellung dieses Versuchsteils bezieht sich auf die Mechanismen, die eine feine Regulation der Muskelkraft ermöglichen. Bei den Wirbeltieren wird jede Faser eines Muskels von genau einem Motoneuron kontaktiert[1]. Allerdings können einzelne Motoneurone mehrere Muskelfasern innervieren. Ein Motoneuron und alle davon innervierten Muskelfasern werden als „*motorische Einheit*“ bezeichnet. Jeder Muskel besteht aus 100 bis 1000 solcher motorischen Einheiten. Ein Aktionspotential eines Motoneurons führt zu einer Zuckung aller kontaktierten Muskelfasern. Die motorische Einheit kann daher als die elementare Größe der Muskelkraft betrachtet werden.

Grob lassen sich drei unterschiedliche Typen von Muskelfasern unterscheiden: langsame Fasern und schnelle, nicht ermüdende Fasern, die sich jeweils durch einen hohen Gehalt an Hämoglobin auszeichnen, was auf eine oxidative Energiegewinnung deutet. Der dritte Typ besteht aus schnellen, ermüdenden Fasern, die über nur wenig Hämoglobin verfügen und daher v.a. eine anaerobe Energiegewinnung über die Glycolyse aufweisen. Sowohl die maximale Kraftentwicklung wie auch der Faserdurchmesser nehmen innerhalb dieser drei Typen von Muskelfasern zu. Die Zusammensetzung aus den einzelnen Typen variiert stark von Muskel zu Muskel. So besteht der bereits im Stand oder im Gehen voll aktivierte Schollenmuskel (M. soleus) zu 90% aus langsamen Fasern, während der erst bei schnellkräftigen Bewegungen wie dem Springen voll aktivierte Zwillingswadenmuskel (M. gastrocnemius) zu 45% aus schnellen, ermüdenden und zu 25% aus schnellen, nicht-ermüdenden Fasern besteht.

notwendige Präparation

Eine Kontraktion des *M. interosseus dorsalis I* führt zu einer Abduktion des Zeigefingers. Dieser intrinsische, dorsale Handmuskel eignet sich besonders gut zur Aufzeichnung eines EMGs, da es keinen anderen Muskel (der korrespondierende ventrale Handmuskel fehlt beim Zeigefinger) gibt, der ebenfalls eine Abduktion dieses Fingers bewirken würde. Der Muskel kann bei einer Abduktion des Zeigefingers leicht ertastet werden. Eine Elektrode sollte direkt auf den Muskel geklebt werden, die Referenzelektrode wird seitlich dazu aufgeklebt. Die Qualität des EMGs kann drastisch verbessert werden, wenn der Hautwiderstand unter den Elektroden durch Abreiben mit Alkohol verringert wird. Eine Erdung (Masse-Armband) sollte nicht vergessen werden.

[1] Bei Wirbellosen ist dieses Prinzip nicht gültig! Die neuronale Verrechnung, die bei Wirbeltieren im Rückenmark stattfindet und auf der Ebene des Motoneurons abgeschlossen ist, findet bei den Wirbellosen noch an der Muskelfaser statt. So existieren bei Invertebraten inhibitorische Motoneurone (wie z.B. der *common inhibitor*).

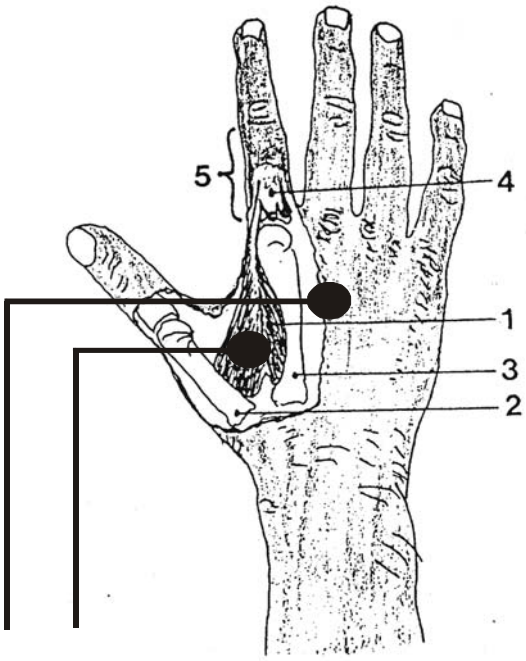

Abb. 3: Schema zur Anbringung der Elektroden auf der rechten Hand.
1: M. interosseus dorsalis I, 2: Os metacarpale I, 3: Os metacarpale II,
4: Dorsalaponeurose, 5: Phalanx proximalis.

Versuchsaufbau

Das EMG wird mit Hilfe eines einfachen EMG-Verstärkers aufgezeichnet. Isometrische Kontraktionen können durch die Belastung des Zeigefinger mit unterschiedlichen Gewichten erreicht werden. Die aktuelle Position des Zeigefingers (Abduktion) wird über ein Steuerknüppel gemessen, der mit dem Finger bewegt wird. So kann auch das EMG bei isotonischen Bewegungen aufgezeichnet werden. Auf dem Oszilloskop mit angeschlossenen Grafik-Drucker wird sowohl das EMG wie auch die Position des Fingers dargestellt.

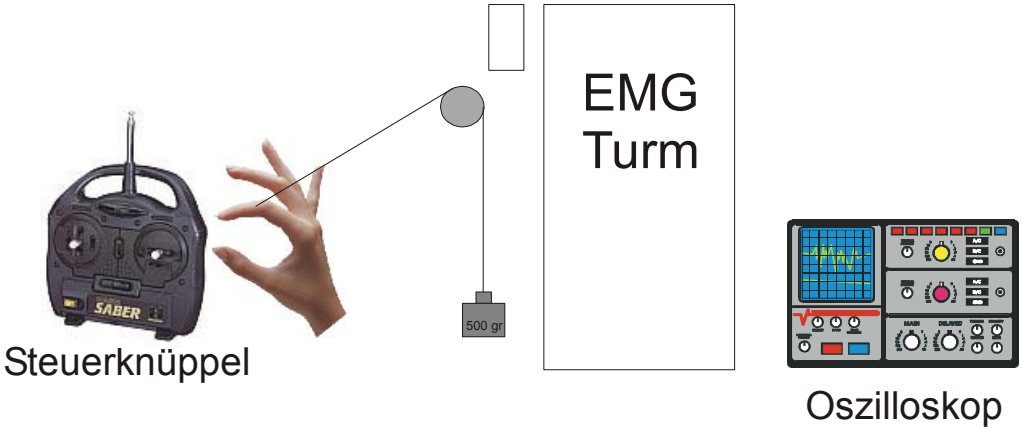

Abb. 4: Komponenten des Versuchsaufbaus.

1. Isometrische Kontraktion

Belasten sie den Zeigefinger ihrer Versuchsperson mit unterschiedlichen Gewichten bis zur maximalen Belastbarkeit (je nach Versuchsperson bis etwa 3 kg). Achten Sie darauf, dass die Position des Fingers konstant bleibt (das Signal vom Steuerknüppel darf sich nicht ändern). Messen und dokumentieren Sie das EMG für jede Belastung einmal über 10 s zur Übersicht sowie einmal über 200 ms zur Identifikation der einzelnen Typen von den Muskel-Aktionspotentialen.

Auswertung
Können tatsächlich unterschiedliche APs erkannt werden? Was bedeutet unterschiedliche Spannungsverläufe?
Bei welcher Kraft werden die einzelnen Muskelfasern rekrutiert?
Gibt es eine Kodierung der Muskelkraft in der Frequenz der Aktionspotentiale einer Muskelfaser?

2. Dynamische Kontraktion

Besonders deutlich wird der Zusammenhang zwischen der Abduktion des Zeigefingers und des EMGS, wenn der Finger tatsächlich bewegt wird. Zeichnen Sie das EMG bei verschiedenen Frequenzen der Fingerbewegung auf. Bitten Sie die Versuchsperson, ihren Finger mit konstanter Frequenz hin und her zu bewegen. Stellen Sie die Zeitbasis des Oszilloskop so ein, dass mindestens eine volle Periode auf dem Schirm (bzw. Ausdruck) abgebildet wird. Warum nimmt das EMG mit steigender Frequenz der Fingerbewegung zu?

ERFOLGSKONTROLLE

Nach diesem Praktikumsteil sollten Sie in der Lage sein:

- ein Nerv-Muskel-Präparat herzustellen,
- eine EMG Ableitung vom M. interosseus dorsalis durchzuführen,
- den anatomischen Grobaufbau von einem Skelettmuskel zu beschreiben,
- den anatomischen Feinbau von Muskelfasern zu beschreiben,
- die nacheinander ablaufenden physiologischen Vorgänge von der elektrischen Reizung am Nerv bis hin zur Kontraktion des Muskels zu erläutern,
- die molekularen Mechanismen der Kontraktion zu beschreiben,
- zu erklären, wie ein Tetanus entsteht
- zu beschreiben, wie die Erregungswelle über das Herz läuft und wie das Blut durch das Herz gepumpt wird,
- zu erklären, warum myogene Herzen nicht tetanisierbar sind,
- den Versuchsaufbau im Muskelversuch zu skizzieren,
- die in Ihrem Protokoll aufgeführten Kurven zu skizzieren und zu erläutern,
- die Versuchsapparatur selbständig aufzubauen.