

Tierexperimentelle Untersuchungen der elektrophysiologischen Parameter der „fast fibers“ äußerer Augenmuskeln mit Glasmikroelektroden

Fred Schulze

Universitäts-Augenklinik des Bereiches Medizin der Martin-Luther-Universität Halle–Wittenberg
(Direktor: OMR Prof. Dr. sc. med. K.-E. Krüger †), DDR-25 Rostock 1 Deutsche
Demokratische Republik

Animal Experimental Investigations of the Electrophysiologic Parameters of 'Fast Fibers' of Extraocular Muscles by Means of Glass Microelectrodes

Summary. The author reports on animal experimental investigations of the electrophysiologic parameters of 'fast fibers' of extraocular muscles in rabbits in vivo by means of standardized glass microelectrode.

The submitted results of investigation enlarge our knowledge of the electrophysiologic parameters of 'fast fibers'.

The statistically analyzed results on musclefiber action potential parameters, on musclefiber membrane resting potentials, strengthduration curves and the data on the electro-mechanical latency period of 'fast fibers' are illustrated by figures.

The most important conclusions for basic research on 'fast fibers', for clinical ophthalmo-electromyography and for the duality concept of eyemovement control are given.

Zusammenfassung. Der Autor berichtet über tierexperimentelle Untersuchungen der elektrophysiologischen Parameter der "fast fibers" äußerer Augenmuskeln von Kaninchen in vivo mit einer standardisierten Glasmikroelektroden-technik.

Die vorgelegten Untersuchungsergebnisse erweitern unsere Kenntnisse der elektrophysiologischen Parameter der "fast fibers". Anhand der Abbildungen werden die statistisch analysierten Ergebnisse über die Muskelfasermembranruhepotentiale, die Parameter der Muskelfaseraktionspotentiale, die Reizzeitspannungskurve und Angaben über die elektromechanische Latenzzeit der "fast fibers" erläutert.

Die experimentellen Untersuchungen wurden im Physiologischen Institut der Martin-Luther-Universität Halle mit Unterstützung durch Herrn Dr.rer.nat. H. Opitz durchgeführt; damaliger Direktor: Prof. Dr.med.habil. B. Lueken

Adresse für Sonderdruckanforderungen: Doz. Dr. sc. med. Fred Schulze, Univ.-Augenklinik der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Doberanerstr. 140, DDR-25 Rostock, Deutsche Demokratische Republik

Die wichtigsten Schlußfolgerungen für die Grundlagenforschung über die "fast fibers", für die klinische Ophthalgo-Elektromyographie und die Dualitätstheorie der Okulomotorik werden dargelegt.

1. Problematik und Aufgabenstellung der Untersuchungen

Die Aufgabenstellung für die vorliegenden Untersuchungen ergab sich aus den bisherigen Veröffentlichungen der Arbeitsgruppe um Hess (1961), Breinin (1962), Oppel (1967), Peachy (1969) sowie Asmussen, Kiessling und Wohlrab (1971), die morphologisch und histotopochemisch 5 bzw. 6 verschiedene Muskelfasertypen in äußeren Augenmuskeln differenzieren konnten. Die Publikationen enthalten aber keine Angaben über zugehörige elektrophysiologische Parameter dieser morphologisch analysierten Typen differenter Augenmuskelfasern.

Durch die Mitteilungen von Hess (1961), Matyushkin (1961), Hess und Pilar (1963), Bach-y-Rita und Ito (1966), Matyushkin und Drabkina (1970), Breinin (1971) und durch die Monographie von Matyushkin (1972) wurden wir mit der Problematik der elektrophysiologischen Differenzierung der "fast fibers" und der "slow fibers" äußerer Augenmuskeln konfrontiert.

Durch tierexperimentelle Untersuchungen der äußeren Augenmuskeln von Kaninchen in vivo mit einer standardisierten Glasmikroelektroden-technik sollten in den vorliegenden Untersuchungen die wesentlichen elektrophysiologischen Parameter der "fast fibers" analysiert werden.

Diese tierexperimentellen Untersuchungen der "fast fibers" haben für die klinische Ophthalgo-Elektromyographie eine wesentliche praktische Bedeutung, weil sich beim gegenwärtigen Entwicklungsstand der klinischen elektromyographischen Untersuchungen äußerer Augenmuskeln die wichtigsten Probleme der Standardisierung, der Ableitungstechnik, der Registrierverfahren und der Interpretation aus den strukturellen und elektrophysiologischen Besonderheiten der äußeren Augenmuskeln ergeben.

2. Methodik und Versuchsanordnung

Die Untersuchungen wurden nach internationalen Standards der experimentellen intrazellulären bzw. transmembranalen elektrophysiologischen Glasmikroelektroden-technik durchgeführt und basieren auf den technischen Angaben von Ling und Gerard (1943), Fatt und Katz (1951), Jenerick und Gerard (1953), Eakins und Katz (1967) sowie von Lavalée, Schanné und Hébert (1969).

2.1. Präparation der äußeren Augenmuskeln

Nach Vorversuchen in vitro wurden die Glasmikroelektroden-Untersuchungen an 12 narkotisierten Kaninchen in vivo durchgeführt, durchschnittliches Gewicht 2,5 kg, Urethannarkose 0,7 g/kg.

Die Untersuchungen zur elektrophysiologischen Charakterisierung der "fast fibers" erfolgten an insgesamt 18 äußeren Augenmuskeln. Es wurden die elektrophysiologischen Parameter von jeweils 50 "fast fibers" bestimmt.

Unter dem Operationsmikroskop erfolgte eine Orbitotomie mit Abtragung der kranialen und kaudalen knöchernen Orbitabegrenzung. Nach Eröffnung der Bindehaut wurden die Musculi obliqui superiores sive inferiores mit Glashaken dargestellt und die zugehörigen Nervenäste des Nervus trochlearis bzw. des Nervus oculomotorius präpariert.

2.2. Registrierverfahren

Die Glasmikroelektroden mit einem Außenspitzendurchmesser unter $1\ \mu$, gefüllt mit 3-molarer KCl-Lösung, Diffusionspotential gegen 0, Tip-Potential unter 1 mV, Elektrodenwiderstand 10–40 Megaohm, wurden mit Hilfe des Mikromanipulators des stereotaktischen Operationsgerätes SESH-2 in eine Muskelfaser vom "fast-fiber-Typ" eingestochen. Die Elektrostimulation der motorischen Nerven erfolgte mit Rechteckimpulsen von 0,1 ms Dauer. Die Potentiale wurden über folgende Meßkette registriert: Glasmikroelektrode – Agar/KCl-Brücke – Ag/AgCl-Innenelektrode – NCE-Verstärker, Typ DISA 14 C 41, in Kombination mit einer indifferenten Elektrode unter Zwischenschaltung einer analogen Agar/KCl-Brücke.

Synchron mit der Stimulierung der motorischen Nerven erfolgte die Triggerung des Zweistrahl-Oszilloskopes und der Registrierkamera. Zur Dokumentation verwendeten wir einen RN-82-Film, 60 mm x 15 mm.

Die Zeiteinheit auf dem Oszilloskop wurde konstant gewählt. Auf der Abszisse entsprach eine Rastereinheit = 1 ms, auf der Ordinate 25 mV (Öpitz und Schulze, 1972 und 1973).

3. Untersuchungsergebnisse

Nach der Auswertung der Filmaufnahmen erfolgte die statistische Analyse der Meßergebnisse.

3.1. Das Muskelfasermembranruhepotential der "fast fibers"

Unsere Untersuchungen über die Muskelfasermembranruhepotentiale der "fast fibers" erfolgten in 2 Serien:

In einer 1. Serie konnten in 17 Mm. obliqui superiores und in 6 Mm. obliqui inferiores insgesamt 92 „bioelektrische Muskelquerschnitte“ mit Glasmikroelektroden transmembranal registriert werden. In dieser Serie wurden sowohl die Muskelfasermembranruhepotentiale der "fast fibers" als auch die der "slow fibers" analysiert. –

In einer 2. Serie wurden von 50 "fast fibers" neben den Muskelfasermembranruhepotentialen auch die übrigen elektrophysiologischen Parameter bestimmt.

In 50 "fast fibers" fanden wir als Mittelwert des Muskelfasermembranruhepotentials $\bar{x} = -75,0$ mV, Standardabweichung $s = 6,7$ mV, Vertrauensgrenzen für 99 % statistischer Sicherheit $-72,5$ mV und $-77,5$ mV.

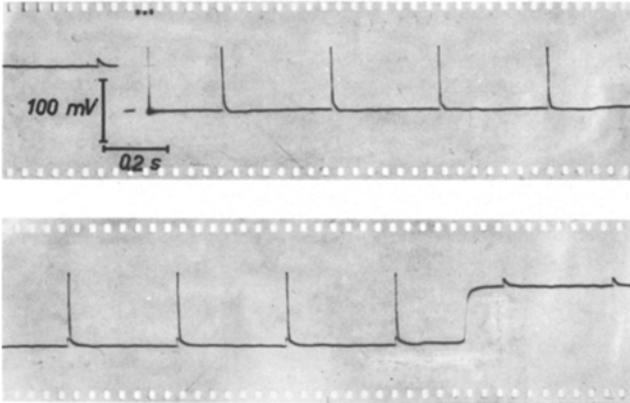


Abb. 1. Übersicht über die Registrierung der Muskelfasermembranruhepotentiale einer Muskelfaser des M.obliquus superior, "fast fiber-Typ". Der Potentialsprung nach Eindringen der Glasmikroelektroden spitze in den Muskelfaserinnenraum vom Bezugspotential ausgehend, ermöglicht die Bestimmung des Muskelfasermembranruhepotentials, das hier ca. - 70 mV beträgt. Durch exogene Triggerung der Elektrostimulation des N.trochlearis wurden gleichzeitig die Muskelfaseraktionspotentiale ausgelöst. Alle Aktionspotentiale haben einen deutlichen "overshoot" über die Nulllinie hinaus von ca. 30 mV.

Durch die Registrierung des Muskelfasermembranruhepotentials und die exogene Evozierung der "spike-Potentiale" können die "fast fibers" elektrophysiologisch identifiziert werden

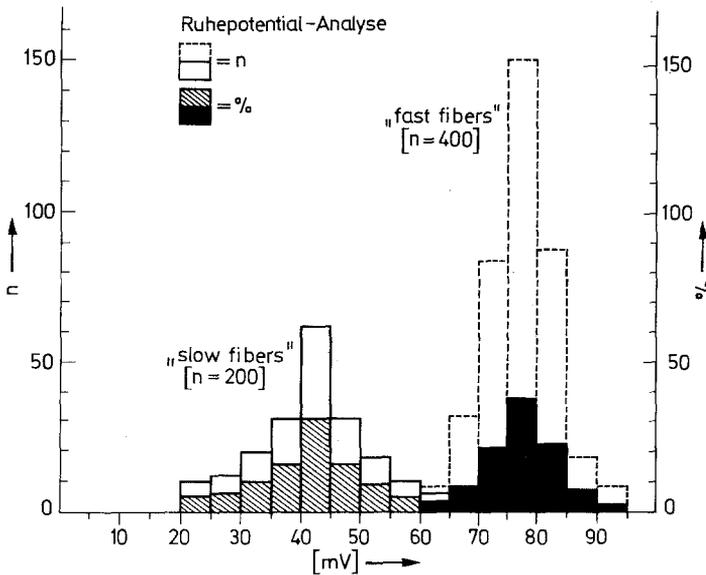


Abb. 2. Graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilung — absolut und prozentual — der Muskelfasermembranruhepotentiale von "fast fibers" und "slow fibers" in den äußeren Augenmuskeln. Deutlich ist die unterschiedliche Maximaverteilung zu erkennen.

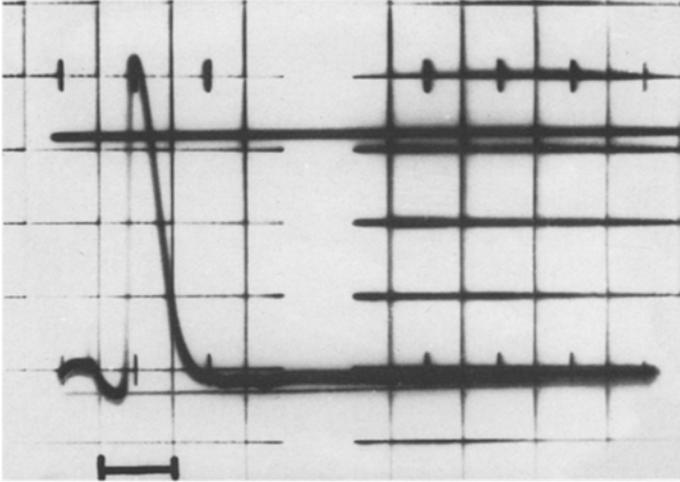


Abb. 3. Originalkurve eines Muskelfaseraktionspotentials einer "fast fiber" vom M.obliquus superior abgeleitet in vivo zur Bestimmung der elektrophysiologischen Parameter. Die Potentialdifferenz von der oberen Bezugslinie zur Basis des Muskelfaseraktionspotentials entspricht dem Muskelfasermembranruhepotential von -75 mV bis -78 mV.

Die Gesamthöhe des exogen getriggerten Muskelfaseraktionspotentials beträgt ca. 110 mV, kurze Anstiegszeit, deutlicher "overshoot", schnelle Repolarisation zum Muskelfasermembranruhepotential, Aktionspotentialdauer ca. $1,1$ ms

Die Abbildung 1 gibt einen Überblick über eine Originalregistrierung. Das Muskelfasermembranruhepotential ist als Potentialsprung bzw. Potentialdifferenz vom Bezugspotential nach Eindringen der Glasmikroelektrode in die Muskelfaser deutlich zu erkennen. Gleichzeitig erfolgte zur Identifizierung der Muskelfaser als "fast fiber" die exogene Triggerung der Elektrostimulation des motorischen Nerven.

Die Muskelfaseraktionspotentiale sind als "spike-Potentiale" ausgehend vom Ruhepotential synchron der exogenen Elektrostimulation mit deutlichen "overshoot" zu erkennen.

Die Abbildung 2 zeigt in graphischer Darstellung die Häufigkeitsverteilung der Analyse der Muskelfasermembranruhepotentiale. Deutlich unterscheiden sich die Maxima der Häufigkeitsverteilungsdiagramme der Muskelfasermembranruhepotentiale der "fast fibers" von denen der "slow fibers".

3.2. Muskelfaseraktionspotential der "fast fibers"

Wir bestimmten in 50 "fast fibers" die Parameter der Muskelfaseraktionspotentiale und werteten sie statistisch aus. Die Abbildung 3 zeigt eine Originalregistrierung des exogen getriggerten Muskelfaseraktionspotentials einer "fast fiber". Die Grundlinie entspricht einem Muskelfasermembranruhepotential von ca. $75-78$ mV. Die Amplitude bzw. Höhe des Muskelfaseraktionspotentials beträgt im vorliegenden Falle ca. 110 mV. Die Aktionspotentialdauer liegt bei ca. $1,1$ ms. Die obere Horizontale markiert das Ausgangs- bzw. das Bezugspotential von 0 mV.

3.2.1. Die Aktionspotentialhöhe der "fast fibers"

Nach statistischer Auswertung ergab sich der Mittelwert für die Aktionspotentialamplituden der "fast fibers" $\bar{x} = 102,8$ mV, Standardabweichung $s = 0,4$ mV, Vertrauensgrenzen für 99 % statistischer Sicherheit 100 mV und 105,6 mV.

Die Abbildung 4 gibt eine Übersicht über die Häufigkeitsverteilung des Muskelfaser-membranruhepotentials, der Aktionspotentialamplitude und der Aktionspotentialdauer bei "fast fibers".

3.2.2. Der "overshoot" der Aktionspotentiale der "fast fibers"

Nach statistischer Auswertung ermittelten wir in 50 "fast fibers" einen "overshoot-Mittelwert" von $\bar{x} = 27,8$ mV, Standardabweichung $s = 4,1$ mV, Vertrauensgrenzen für 99 % statistischer Sicherheit bei 26,3 mV und 29,3 mV.

Bei der Beurteilung des "overshoot" der Muskelfaseraktionspotentiale konnten wir die Messung von der synchron registrierten Horizontalen des Bezugspotentials zum Potentialgipfel direkt ausmessen.

3.2.3. Die Anstiegszeit der Aktionspotentiale der "fast fibers"

Die meßtechnische Auswertung der Anstiegszeit der Aktionspotentiale der "fast fibers" war nur nach entsprechender Vergrößerung der Fotoregistrierungen möglich. Die Meßgenauigkeit hing u. a. von der Fotoregistriertechnik ab (Rüdiger, 1969).

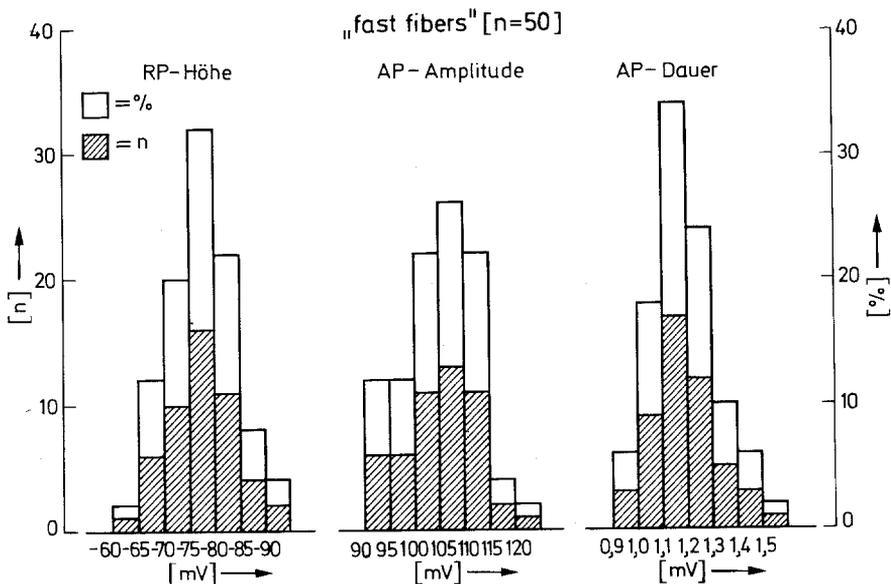


Abb. 4. Graphische Darstellung der Meßwertverteilung der Muskelfasermembranruhepotentiale, der Höhe der Muskelfaseraktionspotentiale und ihrer Dauer absolut und prozentual bei "fast fibers"

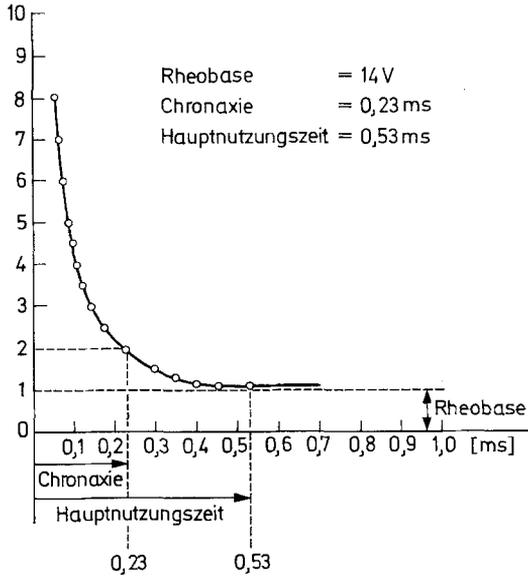


Abb. 5. Reizzeitspannungskurve einer Muskelfaser vom "fast fiber-Typ" des M.obliquus superior in vivo. Nach dem Eindringen der Glasmikroelektrode in die Muskelfaser wurden bei unveränderter Elektrodenlage durch Elektrostimulation des peripheren motorischen N.trochlearis die Muskelfaseraktionspotentiale registriert, die Rheobase, Chronaxie und die Hauptnutzungszeit bestimmt

(n)	RP (mV)	AP (mV)	overshoot (mV)	t (ms)	elektro-mechan. Latenzzeit(n=24) (ms)
50	$\bar{x} = -75,0$	$\bar{x} = 102,8$	$\bar{x} = 27,8$	$\bar{x} = 1,14$	$\bar{x} = 1,97$
	$s = 6,7$	$s = 7,4$	$s = 4,1$	$s = 0,13$	$s = 0,30$
	$V_a = -72,5$	$V_a = 100,0$	$V_a = 26,3$	$V_a = 1,09$	$V_a = 1,86$
	$V_e = -77,5$	$V_e = 105,6$	$V_e = 29,3$	$V_e = 1,19$	$V_e = 2,08$

Abb. 6. Tabellarische Übersicht der elektrophysiologischen Parameter der "fast fibers" äußerer Augenmuskeln, die mit einer Glasmikroelektrodenteknik von äußeren Augenmuskeln bei Kaninchen in vivo gewonnen wurden.
Zusammenfassung der statistischen Ergebnisse

Wir bestimmten die Anstiegszeit in ihrem Mittelwert mit $\bar{x} = 0,24$ ms, Standardabweichung $s = 0,5$ ms, die Vertrauensgrenzen lagen bei 99 % statistischer Sicherheit bei 0,22 ms und bei 0,26 ms.

3.2.4. Die Aktionspotentialdauer der "fast fibers"

Statistisch berechneten wir die Aktionspotentialdauer für $n = 50$. Wir fanden einen Mittelwert $\bar{x} = 1,14$ ms, Standardabweichung $s = 0,13$ ms bei einem Vertrauensbereich von 1,09 ms bis 1,19 ms, d.h. die Vertrauensgrenzen lagen für 99 % statistischer Sicherheit bei 1,09 ms und bei 1,19 ms. Die Aktionspotentialdauer der "fast fibers" konnte bei direkter Fotoregistrierung ausgemessen werden, da eine Rastereinheit auf der Abszisse des Oszilloskopes konstant mit 1 ms als Zeitbasis eingeblendet wurde.

3.3. Reizzeitspannungskurve der "fast fibers"

Zur elektrophysiologischen Charakterisierung der wichtigsten Parameter der "fast fibers" wurde auch eine Bestimmung der Reizzeit-Spannungskurve der "fast fibers" bei transmembranaler Ableitungstechnik erforderlich. Bei der Ableitung der Muskelfaseraktionspotentiale konnten wir von "fast fibers" in vivo die Reizzeit-Spannungskurven nach dem Eindringen der Glasmikroelektrode in die Muskelfaser bei unveränderter Elektrodenlage registrieren.

- Die Abbildung 5 enthält die wichtigsten Angaben.
- Die Rheobase betrug durchschnittlich 14 V. Die Chronaxie ermittelten wir mit 0,23 ms. Die Hauptnutzungszeit konnte mit 0,53 ms bestimmt werden.
- Die Abbildung 6 gibt eine Übersicht über die statistische Analyse der elektrophysiologischen Parameter der "fast fibers" äußerer Augenmuskeln von Kaninchen in vivo. Die Angaben über die elektro-mechanische Latenzzeit von "fast fibers" wurden in diese Übersicht aufgenommen. Über die Analyse der elektro-mechanischen Latenzzeit bei "fast fibers" berichteten wir 1976 ausführlich.

Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurden die wichtigsten elektrophysiologischen Parameter der "fast fibers" äußerer Augenmuskeln von Kaninchen in vivo mit einer standardisierten Glasmikroelektrodenteknik bestimmt. Diese Untersuchungen sind die wesentliche Voraussetzung für die weitere elektrophysiologische Differenzierung der verschiedenen Muskelfasertypen äußerer Augenmuskeln, die bisher histologisch, histotopochemisch und elektronenmikroskopisch analysiert werden konnten. Die histologischen und histotopochemischen Untersuchungen u.a. von Cheng und Breinin (1966), Oppel (1967) Mukuno (1968), Peachey (1969) sowie von Asmussen, Kiessling und Wohrlab (1971) haben zwar den Nachweis morphologisch differenzierter Muskelzelltypen im Muskelquerschnitt erbringen können, jedoch fehlte bisher in der uns erreichbaren Literatur eine umfassende Analyse der wichtigsten elektrophysiologischen Parameter der "fast fibers".

Untersuchungsergebnisse über die Muskelfasermembranruhepotentiale äußerer Augenmuskeln liegen von Hess und Pilar (1963), Matyushkin (1964), Bach-y-Rita und Ito (1966), von Breinin (1971) und von Matyushkin (1972) vor.

Nach Hess und Pilar (1963) betragen die Muskelfasermembranruhepotentiale der "fast fibers" – 50 mV bis – 80 mV. Bach-y-Rita und Ito (1966) nennen als Mittelwert – 82,7 mV und Matyushkin (1972) legt sich auf $-70,4 \text{ mV} \pm 4 \text{ mV}$ fest.

Bei unseren Bestimmungen der Muskelfasermembranruhepotentiale von 400 "fast fibers" in einer ersten Serie und 50 "fast fibers" in einer zweiten Serie errechneten wir einen Mittelwert $\bar{x} = -74,8$ mV, Standardabweichung $s = 6,9$ mV, Vertrauensgrenzen 73,9 mV und $-75,7$ mV.

Für die Analyse der Muskelfaseraktionspotentiale fanden wir bei Hess und Pilar (1963), Bach-y-Rita und Ito (1966), Breinin (1971) und Matyushkin (1972) im wesentlichen nur Angaben über die Aktionspotentialamplitude und die Aktionspotentialdauer ohne Angaben der Häufigkeitsverteilung der Meßwerte und der Vertrauensbereiche.

Die in Abbildung 5 zusammengefaßten Angaben über die Aktionspotentialamplituden, die Aktionspotentialdauer und den "overshoot" konnten von uns statistisch gesichert und mit den entsprechenden Vertrauensgrenzen bestimmt werden. Außerdem trugen wir durch die Messung der Anstiegszeit der Muskelfaseraktionspotentiale zur Erweiterung der Kenntnisse zur elektrophysiologischen Charakterisierung der Muskelfaseraktionspotentialparameter bei.

Die Registrierung der Reizzeit-Spannungskurve der "fast fibers" vervollständigt unsere Analyse der elektrophysiologischen Parameter der "fast fibers".

Vergleichbare Ergebnisse anderer Autoren über intrazelluläre Bestimmungen der Reizzeit-Spannungskurve konnten wir nicht ermitteln.

In die tabellarische Übersicht über die elektrophysiologischen Parameter der "fast fibers" haben wir auch die Angaben über die elektromechanische Latenzzeit aufgenommen, über die wir an anderer Stelle (Schulze, 1975) berichteten.

Die Bedeutung der vorgelegten Untersuchung kann man in folgenden Punkten zusammenfassen:

Bedeutung für die Grundlagenforschung über die Okulomotorik

1. Durch die umfassende Analyse der elektrophysiologischen Parameter der "fast fibers" konnte dieser Muskelfasertyp, der die schnellen Augenbewegungen bewirkt, elektrophysiologisch genau charakterisiert werden.
2. Durch diese Untersuchungen wurden unsere Kenntnisse über die elektrophysiologischen Eigenschaften der Muskelfasern mit Fibrillenstruktur, die sich mit Muskelquerschnitt vorwiegend zentral lokalisieren, deren Myofibrillen eindeutig markiert und abgegrenzt sind, die ein ausgeprägtes sarkoplasmatisches Retikulum und ein verzweigtes System transversaler Tubuli besitzen, wesentlich erweitert.
3. Diese Bestimmungen der elektrophysiologischen Parameter der "fast fibers" äußerer Augenmuskeln bilden die Grundlage für fortführende Untersuchungen über die elektrophysiologischen Parameter der "slow fibers", die nach morphologischen Untersuchungen im Muskelquerschnitt eine typische Felderstruktur aufweisen, vorwiegend peripher lokalisiert sind, eine irreguläre Demarkation der Myofibrillen haben, deren sarkoplasmatisches Retikulum äußerst spärlich ist und die für die langsamen Augenbewegungen verantwortlich gemacht werden.
4. Die vorgelegten Untersuchungen schaffen auch eine wesentliche Voraussetzung für die Überprüfung der Dualitätstheorie der Okulomotorik aus elektrophysiologischer Sicht.

Bedeutung für die klinische Ophthalmoelektromyographie

Für die klinische Ophthalmoelektromyographie sind folgende Rückschlüsse möglich:

1. In der klinischen Ophthalmoelektromyographie beeinflussen die Ableitungsbedingungen mit verschiedenen EMG-Elektroden und die Registriertechnik wesentlich die Untersuchungsbefunde. Aussagen über die Muskelfasermembranruhepotentiale, die Muskelfaseraktionspotentiale einzelner Muskelfasern sind nur durch eine intrazelluläre Glasmikroelektrodenteknik bei transmembranalen Ableitungsverfahren möglich.

Bei allen Protokollen und Mitteilungen sind die verwendeten Elektroden und die Ableitungsbedingungen mit den entsprechenden Markierungen der Zeitbasis und der Potentialhöhe anzugeben.

2. In der klinischen Ophthalmoelektromyographie werden bei einer extrafibrillären Ableitungstechnik nur vektoriell summierte Potentialdifferenzen registriert. Daher wird in der klinischen EMG-Analyse das Aktionspotential einer ganzen motorischen Einheit registriert. Selbst ein Einzelpotential, registriert mit einer koaxialen Nadelelektrode, ist die vektorielle Summe aller Muskelfasermembranaktionspotentiale der zu dieser motorischen Einheit gehörenden, nahezu synchron innervierten und damit depolarisierten Muskelfasern.

3. Bei der klinischen extrazellulären Ableitungstechnik mit koaxialen Nadelelektroden, die einen Außendurchmesser von ca. 400 μ haben, können wir nur 2–10 % der Potentialdifferenzen der Aktionspotentiale registrieren, die wir mit einer intrafibrillären Ableitungstechnik transmembranal nach Einführung der Glasmikroelektroden mit einem Außendurchmesser von 1 μ in eine Muskelfaser nachweisen können.

Diese Differenz resultiert einerseits aus der vektoriellen Summation der Potentiale der einzelnen Muskelfasern, andererseits wird die Potentialhöhe in der klinischen Ophthalmoelektromyographie durch den elektrotonischen Abfall bedingt, da die registrierte Potentialdifferenz auch mit dem Abstand der Ableitungselektrode von der aktivierten, innervierten motorischen Einheit abnimmt.

4. Schlußfolgerungen ergeben sich auch in der Nomenklatur der klinischen Ophthalmoelektromyographie. Der Begriff „Ruhepotential“ ist im elektrophysiologischen Bereich als transmembranales Muskelfasermembranpotential genau definiert und sollte in der klinischen Nomenklatur nicht verwendet werden.

Literatur

- Asmussen, G., Kiessling, A., Wohlrab, F.: Histochemische Charakterisierung der verschiedenen Muskelfasertypen in den äußeren Augenmuskeln von Säugetieren. *Acta anat.* **79**, 526–545 (1971)
- Bach-y-Rita, P., Ito, F.: In vivo studies on fast and slow muscle fibers in cat extraocular muscles. *J. gen. Physiol.* **49**, 1177–1198 (1966)
- Breinin, G.M.: The electrophysiology of extraocular muscles. University of Toronto press 1962
- Breinin, G.M.: The structure and function of extraocular muscles, an appraisal of the duality concept. *Amer. J. Ophthalm.* **72**, 1–9 (1971)

- Cheng, K., Breinin, G.M.: A comparison of the fine structure of extraocular and interosseous muscles in the monkey. *Invest. Ophthalm.* 5, 535–549 (1966)
- Cheng, M., Davidowitz, J., Liebowitz, A., Breinin, G.M.: Fine structure of extraocular muscle in rabbit. *J. Cell. Biol.* 39, 193–197 (1968)
- Eakins, K.E., Katz, R.L.: The role of the automatic nervous system in extraocular muscle function. *Invest. Ophthalm.* 6, 253–265 (1967)
- Fatt, P., Katz, B.: An analysis of the endplate potential recorded with an intracellular electrode. *J. Physiol. (Lond.)* 115, 320–370 (1951)
- Hess, A.: The structure of slow and fast extrafusal muscle fibers in extraocular muscles and their endings in guinea pig. *J. cell. comp. Physiol.* 58, 63–69 (1961)
- Hess, A.: The structure of vertebrate slow and twitch muscle fibers. *Invest. Ophthalm.* 6, 217–228 (1967)
- Hess, A., Pilar, G.: Slow fibers in the extraocular muscle of the cat. *J. Physiol. (Lond.)* 169, 780–789 (1963)
- Jenerick, H.P., Gerard, R.: Membrane potential and threshold of single muscle fibers. *J. cell. comp. Physiol.* 42, 72–102 (1953)
- Lavallecé, M., Schanné, O.F., Hébert, C.: Glass microelectrodes. New York–Sydney–Toronto: J. Wiley and Sons, 1969
- Ling, G., Gerard, R.: The normal membrane potential of frog sartorius fibers. *J. cell. comp. Physiol.* 34, 383–496 (1943)
- Matyushkin, D.P.: Phasic and tonic neuromotor units in the oculomotor apparatus of the rabbit. *Fiziol. Z. (Mosk.)* 47, 65–72 (1961); russisch
- Matyushkin, D.P.: Phasic and tonic neuromotor units in the oculomotor apparatus of the rabbit. *Bull. exp. Biol. Med.* 55, 235–242 (1964)
- Matyushkin, D.P.: Glasodwigatel'nyj apparat mlekopitajuschich. *Medizina*, Leningrad 1972; russisch
- Matyushkin, D.P., Drabkina, T.M.: Electrophysiological characteristic of the properties of the extrinsic eye muscles tonic fibers. *Fiziol. Z. (Mosk.)* 54, 563–569 (1970); russisch
- Mukuno, K.: The fine structure of human extraocular muscles. *Jap. J. Ophthalm.* 12, 111–122 (1968)
- Oppel, M.: Über die motorischen, sensorischen und sensiblen Nerveneinrichtungen im menschlichen Augenmuskelapparat und ihre sinnesphysiologische Bedeutung. *Albrecht v. Graefes Arch. klin. exp. Ophthalm.* 171, 337–366 (1967)
- Opitz, H., Schule, F.: Microelectrode studies in extraocular muscles of the rabbit. 2nd International Symposium on Motor Control Varna, Bulgaria, 3rd-7th October 1972
- Opitz, H., Schulze, F.: Microelectrode studies in extraocular muscles of the rabbit. *Agressologie* 14, 1–6 (1973)
- Peachey, L.: The morphology of the eye muscles. Symposium on the control of the eye movements. San Francisco:1969
- Rüdiger, W.: Lehrbuch der Physiologie. Berlin: VEB Verlag Volk und Gesundheit 1969
- Schulze, F.: Gegenwärtige Probleme der experimentellen und klinischen Ophthalmoelektromyographie. Dissertation zur Promotion B an der Medizin. Fakultät des Wiss. Rates der Martin-Luther-Universität Halle–Wittenberg 1975

Schulze, F.: Tierexperimentelle Untersuchungen zur Analyse der Muskelfasermembranruhepotentiale der "fast fibers" und "slow fibers" äußerer Augenmuskeln. *Wiss. Zeitschr. der Wilh.-Pieck-Univ. Rostock* (im Druck, 1976)

Schulze, F.: Tierexperimentelle Untersuchungen zur Bestimmung der Dauer der „mechanisch-effektiven Periode“ des Muskelfasermembranaktionspotentials und der „elektro-mechanischen Latenzzeit“ der "fast fibers" äußerer Augenmuskeln bei Kaninchen in vivo. *Albrecht v. Grafes Arch. klin. u. exp. Ophthalmologie* **202**, (1977)

Eingegangen am 25. Oktober 1976