

Elektrophysiologischer Nachweis von 3 differenten Muskelfasertypen der „slow fibers“ äußerer Augenmuskeln

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

Electrophysiologic Evidence of Three Different Types of the ‘Slow Fibers’ of Extraocular Muscles

Summary. The author reports on electrophysiologic investigations of extraocular muscles in rabbits *in vivo* by means of standardized glass microelectrodes.

The results of investigation on muscle-fiber membrane resting potentials of ‘slow fibers’ as well as on postsynaptical potentials of ‘slow fibers’ are analyzed after having elucidated the problems as well as the methods employed and the experimental setup.

By figures and synopses in tabular form the author illustrates the electrophysiologic parameters of three different types of muscle fibers of ‘slow fibers’ of extraocular muscles that can with certainty be differentiated electrophysiologically.

In the discussion references are made to the importance of the submitted results of investigation for basic research and for clinical ophthalmoelectromyography.

Finally, the trends of investigation of the electrophysiologic analysis of extraocular muscles are discussed.

Zusammenfassung. Der Autor berichtet über elektrophysiologische Untersuchungen äußerer Augenmuskeln bei Kaninchen *in vivo* mit einer standardisierten Glasmikroelektrodentchnik.

Nach Erläuterung der Problematik und Aufgabenstellung sowie der Methodik und Versuchsanordnung werden die Untersuchungsergebnisse über die Muskelfasermembranruhepotentiale der “slow fibers” sowie über die postsynaptischen Po-

tentiale der "slow Fibers" analysiert. Anhand von Abbildungen und tabellarischen Übersichten erläutert der Autor die elektrophysiologischen Parameter von 3 verschiedenen, elektrophysiologisch sicher zu differenzierenden Muskelfasertypen der "slow fibers" äußerer Augenmuskeln.

In der Diskussion wird auf die Bedeutung der vorgelegten Untersuchungsergebnisse für die Grundlagenforschung sowie für die klinische Ophthalmo-Elektromyographie hingewiesen.

Abschließend werden die erkennbaren Forschungsrichtungen der elektrophysiologischen Analyse äußerer Augenmuskeln erörtert.

1. Problematik und Aufgabenstellung der Untersuchungen

Die Mitteilungen von Matyushkin (1964) sowie die Kontroverse zwischen Pilar und Hess (1966) mit Bach-y-Rita und Ito (1966) lassen erkennen, daß bisher noch keine einheitliche Auffassung über die Elektrophysiologie des "slow fibers" äußerer Augenmuskeln besteht.

Da über die "slow fibers" im klinischen und experimentellen ophthalmologischen Schrifttum kaum Angaben zu finden sind, muß angenommen werden, daß die Bedeutung der tonischen "slow fibers" für die normale und pathologische Okulomotorik noch nicht erkannt wurde.

Zahlreiche histologische, histotopochemische und elektronenmikroskopische Untersuchungen haben eine sichere Differenzierung der "fast fibers" und der "slow fibers" ermöglicht. Hier sind vor allen Dingen die Untersuchungen von Breinin (1962), Hess und Pilar (1963), Kern (1965), Ozawa (1965), Cheng und Breinin (1966), Meyer, Stockinger und Zencker (1966), Opper (1967), Cheng, Davidowitz, Liebowitz und Breinin (1968), Mukuno (1968) sowie Namba, Nakamura und Grob (1968), Aichmaier (1969), Peachey (1969), Breinin (1971) sowie Asmussen, Kiessling und Wohlrab (1971) zu nennen.

In einer Übersichtsarbeit über die Okulomotorik hat Breinin (1971) hervorgehoben, daß ein echter Fortschritt in der elektrophysiologischen Analyse der "slow fibers" nur dann möglich sein wird, wenn mit einer Glasmikroelektrodechnik signifikant differente Potentiale bei "slow fibers" nachgewiesen werden können. — Aus dieser aktuellen Problematik ergab sich die Aufgabenstellung der vorliegenden Untersuchungen.

Nach Vorversuchen *in vitro* analysierten wir die elektrophysiologischen Parameter der "slow fibers" äußerer Augenmuskeln bei Kaninchen *in vivo*.

Wir konnten elektrophysiologisch 3 verschiedene Muskelfasertypen der "slow fibers" analysieren.

Bei der Auseinandersetzung mit dieser tierexperimentellen Problematik wurden wir nicht nur auf die besondere Bedeutung dieser Untersuchungen der "slow fibers" in der Grundlagenforschung aufmerksam. Die vorgelegte Analyse der elektrophysiologischen Parameter der 3 verschiedenen Muskelfasertypen der "slow fibers", die die langsamen, tonischen Augenbewegungen bewirken, läßt auch neue Aspekte für die Dualitätstheorie der normalen Okulomotorik erkennen und regt zu weiteren klinischen elektromyographischen Untersuchungen der Augenmotilitätsstörungen an. (vgl. Oplitz und Schulze, 1972 und 1973)

2. Methodik und Versuchsanordnung

Die Einzelheiten der Versuchsanordnung haben wir in vorangegangenen Publikationen ausführlich beschrieben. (Schulze 1975, 1976a, b) Uns stand eine standardisierte Glasmikroelektrodenteknik zur Registrierung der elektrophysiologischen Parameter der "slow fibers" zur Verfügung, die im wesentlichen auf den technischen Angaben von Ling und Gerard (1943), Eakins und Katz (1967) sowie von Lavalée, Schanné und Hébert (1969) basiert.

Die Glasmikroelektroden hatten einen Außenspitzendurchmesser unter 1μ . Sie waren gefüllt mit 3-molarer KCl-Lösung, das Diffusionspotential war gegen 0, das Tip-Potential lag unter 1 mV, der Elektrodenwiderstand betrug 10–40 Megaohm.

Die Meßkette hatte folgenden Aufbau:

Glasmikroelektrode – Agar/KCl-Brücke – Ag/AgCl-Innenelektrode – NCE-Verstärker, Typ DISA 14 C 41, – indifferente Elektrode mit Agar/KCl-Brücke.

Die Auswertung erfolgte nach der Fotoregistrierung der Potentiale der "slow fibers" von einem Zweistrahl-Oszilloskop.

Da uns durch die vorangegangenen Untersuchungen der Muskelfasermembranruhepotentiale und der elektrophysiologischen Parameter der "fast fibers" bekannt war, daß die "slow fibers" vorwiegend in dem äußeren Muskelareal liegen, erfolgten die Registrierungen der Potentiale der "slow fibers" im "biologischen Muskelquerschnitt" vorwiegend aus den äußeren Muskelarealen.

Da uns in erster Linie die Rhythmik der Spontanentladungen der "slow fibers" interessierte, wurden vorwiegend fortlaufende Filmregistrierungen vorgenommen.

Die Abbildungen demonstrieren in einer Übersicht die charakteristischen Potentialverläufe und die wesentlichen Unterschiede der "fast fibers" und der "slow fibers". –

Die Untersuchungsergebnisse wurden statistisch ausgewertet.

3. Untersuchungsergebnisse

In dieser experimentellen Serie untersuchten wir die elektrophysiologischen Parameter der "slow fibers" in 8 Mm.obliqui superiores und in 4 Mm.obliqui inferiores bei

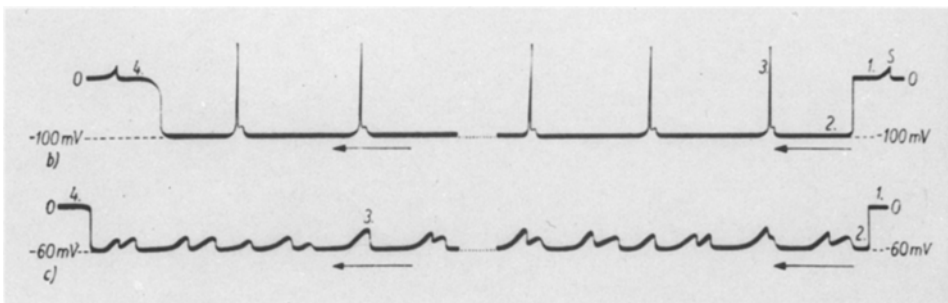


Abb. 1. Übersicht der charakteristischen elektrophysiologischen Befunde der "fast fibers" und "slow fibers". Obere Kurve: Ableitung mit Glasmikroelektrode von einer "fast fiber": 1 Null-Potential, 2 Ruhepotential, 3 Aktionspotential mit "overshoot". S = Stimulus. – Untere Kurve: Ableitung mit Glasmikroelektrode von einer "slow fiber": 1 Null-Potential, 2 Ruhepotential, 3 postsynaptisches Potential der "slow fiber", kein "overshoot"

Kaninchen in vivo. Insgesamt konnten die Parameter der Potentiale von 164 "slow fibers" statistisch ausgewertet werden.

3.1. Das Muskelfasermembranruhepotential der "slow fibers"

Bei der Registrierung des „bioelektrischen Muskelquerschnittes“ der Mm.obliqui superiores sive inferiores hatten wir die Muskelfasermembranruhepotentiale der vorwiegend in den äußeren Muskelschichten liegenden "slow fibers" bestimmt.

Der Mittelwert lag bei $\bar{x} = -39,3$ mV, Standardabweichung $s = 9,1$ mV, Vertrauensgrenzen bei 99 % statistischer Sicherheit von 37,6 mV bis $-41,0$ mV.

Damit unterschieden sich die Muskelfasermembranruhepotentiale der "slow fibers" signifikant von den Muskelfasermembranruhepotentialen der "fast fibers".

3.2. Analyse der Spontanaktivität der tonischen "slow fibers"

In 64 von 124 "slow fibers" fanden wir unter den beschriebenen Versuchsbedingungen eine autonome Spontanaktivität. —

Nach einer Analyse der verschiedenen Potentialformen und der differenten Rhythmik sowie der Höhe, Anstiegszeit und Dauer der sogenannten postsynaptischen Potentiale der "slow fibers" konnten wie 3 verschiedene Muskelfasertypen der tonischen "slow fibers" des äußeren Augenmuskels bei Kaninchen in vivo unterscheiden:

3.2.1. Muskelfasertyp 1: "slow fibers mit wave-activity"

In 32 Muskelfasern der "slow fibers" fanden wir eine "wave-activity" mit bestimmten Muskelfasermembranruhepotentialen, differenten Amplituden, unterschiedlicher Dauer, Entladungsfrequenz und Rhythmik.

Elektrophysiologische Kennzeichen der "slow fibers mit wave-activity":

Für die "slow fibers mit wave-activity" waren folgende Potentialparameter charakteristisch:

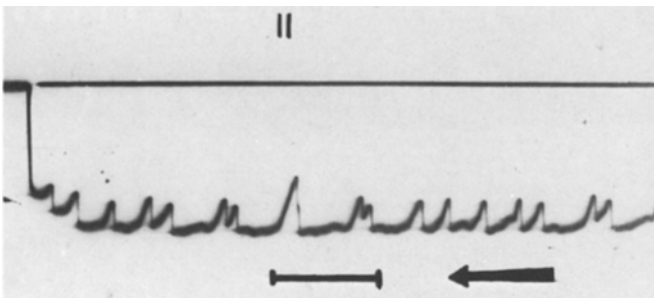


Abb. 2. Ableitung mit Glasmikroelektrode von einer "slow fiber" mit wave-activity". Deutlich ist der Potentialsprung vom Null- bzw. Bezugspotential auf das Niveau des Ruhepotentials zu erkennen, das hier -55 mV beträgt. Die autonome Rhythmik der postsynaptischen Potentiale der "slow fiber mit wave-activity" ist bedingt durch 2 an verschiedenen Stellen der Muskelfasermembran entstehende Depolarisationen. Die vektorielle Summation ergibt die charakteristischen Potentialverläufe beim Muskelfasertyp 1, "slow fiber mit wave-activity". Zeitmarkierung 100 ms

Die Muskelfasermembranruhepotentiale variierten von -24 bis -60 mV. Die postsynaptischen, spontanen Potentiale hatten eine Amplitude von 10 bis maximal 24 mV. Die Anstiegszeit differierte von $1,0$ bis maximal $3,5$ ms. Die Rhythmusfrequenz der spontanen Depolarisationen lag bei $8/s$ bis maximal $32/s$.

Die Abbildung 2 zeigt die typischen postsynaptischen Potentiale des Muskelfasertypes 1, "slow fiber with wawe-activity".

Das Ruhepotential beträgt -55 mV, deutlich ist die autonome Rhythmik mit unterschiedlichen Entladungsfrequenzen zu erkennen. Die Potentialformen und die Potentialhöhe variieren.

Sie entstehen als vektorielle Summationspotentiale eines „ortsständigen“ und eines entfernter entstehenden postsynaptischen Potentials. Die Phasenverschiebung der

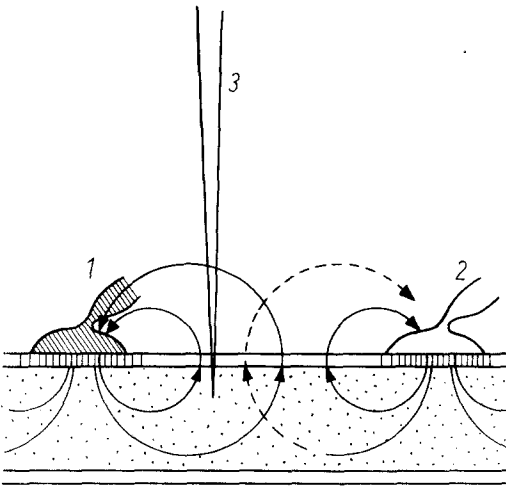


Abb. 3. Erläuterung der Entstehung postsynaptischer Potentiale bei "slow fibers", Registrierung mit Glasmikroelektroden. 1 Elektrodennahe "terminaison en grappe". 2 Elektrodenfernere zweite Depolarisationszone der Muskelfasermembran, ebenfalls in Form einer "terminaison en grappe". 3 Mikroelektrode innerhalb der Muskelfaser. Von den elektrodennahen "terminaison en grappe" werden höhere postsynaptische Potentiale registriert als von der elektrodenferneren. Der registrierte Potentialverlauf ergibt sich als vektorielle Summation, wobei beide "terminaisons en grappe" einen eigenständigen Rhythmus haben

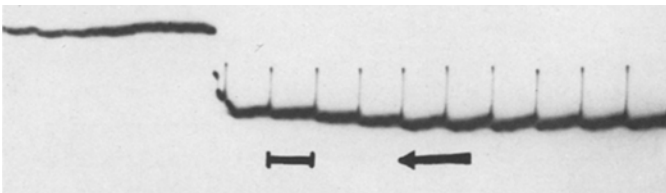


Abb. 4. Ableitung mit Glasmikroelektroden von einer "slow fiber with spike activity", Muskelfasertyp 2. Muskelfasermembranruhepotential -36 mV, postsynaptisches Potential 24 mV. Potentialdauer 1 ms, Rhythmusfrequenz $18/s$. Zeitmarkierung 100 ms

Potentialfolgen ist in der Mitte der Abbildung 2 bei maximaler Amplitudenhöhe am geringsten. Die Rhythmusanalyse der Einzelpotentiale ist auf der Abbildung 6 dargestellt.

Die Abbildung 3 erläutert die Entstehung der postsynaptischen Potentiale des Muskelfasertypes 1 der "slow fibers mit wawe-activity". Auf Grund der Potentialformen und der Potentialparameter müssen wir den Muskelfasertyp 1 der "slow fibers mit wawe-activity" den tonischen "slow fibers", den Muskelfasern mit Felderstruktur zuordnen, die nach der morphologischen Analyse peripher im Muskelquerschnitt liegen, eine polygonale Felderstruktur aufweisen, deren Myofibrillen eine irreguläre Demarkation haben, deren sarkoplasmatisches Reikulum spärlich ausgebildet ist und die über „terminaisons en grappe“ durch multiple Nervenendigungen innerviert werden. Sie sind für den tonischen Kontraktionsablauf und für die langsamen Augenbewegungen verantwortlich.

3.2.2. Muskelfasertyp 2: "slow fibers mit spike-activity"

In 13 Muskelzellen der "slow fibers" fanden wir eine reine "spike-activity". —

Eine "spike-activity" bei "slow fibers" äußerer Augenmuskeln wurde bisher in der uns zugängigen Literatur noch nicht beschrieben! —

Diese autonome "spike-activity" tonischer "slow fibers" konnte von uns isoliert, aber auch kombiniert mit einer "wawe-activity" als "slow-fiber-spike-wawe-activity" nachgewiesen werden. —

Elektrophysiologische Kennzeichen der "slow fibers mit spike-activity":

Bei diesen postsynaptischen Potentialen betrug das Muskelfasermembranruhepotential -25 mV bis maximal -40 mV. Das postsynaptische Potential wurde mit 18 bis maximal 35 mV bestimmt. Entscheidend für die Differenzierung gegenüber den Potentialverläufen der "fast fibers" ist, daß wir in keinem Fall bei der autonomen rhythmischen Entladung dieser Muskelfasern mit "spike-activity" das Erreichen des Null- bzw. Bezugspotentials beobachtet haben. Es gab also nie einen "overshoot"!

Die Dauer der postsynaptischen Potentiale der Muskelfasern mit "spike-activity" betrug 1,0 ms, die Rhythmusfrequenz lag zwischen 8/s bis 18/s. —

Nach den bisherigen Untersuchungen müssen wir annehmen, daß die "slow-fibers" unterschiedlich innervatorisch versorgt werden. Bisher ging man davon aus, daß alle tonischen "slow fibers" nur über die γ -Fasern, über "terminaisons en grappe" polyneuronal innerviert werden.

Beim Muskelfasertyp 2 der "slow fibers" mit "spike-activity" müssen wir annehmen, daß auch eine innervatorische Versorgung durch Nervenendigungen in Form von "terminaisons en plaque" möglich ist.

Die Abbildung 4 zeigt eine Originalkurve, registriert vom Muskelfasertyp 2, "slow fiber mit spike-activity". Das Ruhepotential betrug -36 mV, das postsynaptische Potential 24 mV, Rhythmusfrequenz 18/s. Nach Eindringen der Glasmikroelektrode ist der deutliche Potentialsprung vom Null- oder Bezugspotential auf das Muskelfasermembranruhepotential zu erkennen. Die postsynaptischen Potentiale der autonomen Rhythmik der "spike-activity" erreichen nie das Nullpotential und weisen keinen "overshoot" auf.

3.2.3. Muskelfasertyp 3: "slow fibers mit spike-wave-activity"

In 15 Muskelzellen des "slow fibers systems" fanden wir einen dritten Muskelfasertyp, bei dem wir eine autonome rhythmische Entladung als kombinierte postsynaptische "spike-wave-activity" nachweisen konnten. —

Elektrophysiologische Kennzeichen der "slow fibers mit spike-wave-activity":

Das Muskelfasermembranruhepotential variiert von -25 mV bis -45 mV. Die postsynaptischen Potentiale kann man weiter differenzieren. Sowohl die "spikes" als auch die "waves" haben eine autonome voneinander unabhängige Rhythmik. —

Die "spike-Potentiale" dieses Muskelfasertypes haben eine Potentialhöhe von 12 bis 35 mV, Potentialdauer 1 ms, Frequenzspektrum 12/s bis 36/s. Wir beobachteten nie einen "overshoot".

Die "wave-Potentiale" dieses Muskelfasertypes haben eine Potentialhöhe von 10 bis 24 mV, eine Potentialdauer von 24 ms und ein Frequenzspektrum von 12/s bis 36/s.

Die Abbildung 5 zeigt die Potentiale des Muskelfasertypes 3, "slow fibers mit spike-wave-activity". Dabei ist das Ruhepotential etwa -42 mV, die Höhe der "spike-Potentiale" beträgt 25 mV, autonome Frequenz 18/s.

Die "wave-Potentiale" haben eine Amplitude von 10–12 mV. Die Relation der Frequenzen beider Potentialformen beträgt 18 : 32.

Der Nachweis eines 3. Muskelfasertypes der "slow fibers mit spike-wave-activity" bestätigt unsere Annahme über die polyneurale Innervation der "slow-fibers". —

Eine rein myogene Genese, die zu diesen äußerst differenten Potentialverläufen bei "slow fibers" führen könnte, erscheint uns unwahrscheinlich. —

Die Abbildung 6 gibt eine Übersicht über die 3 differenten Muskelfasertypen der "slow fibers". Diese Synopsis demonstriert anhand von Originalregistrierungen unsere Untersuchungsbefunde der elektrophysiologischen Analyse der Parameter tonischer "slow fibers". —

Die einzelnen Untersuchungsergebnisse werden in der tabellarischen Übersicht zusammengefaßt.

Tabelle 1. Übersicht über die elektrophysiologischen Parameter der 3 Muskelfasertypen des "slow fibers-systems"

Muskelfasertyp	Ruhepotential (mV)	postsynaptisches Potential				
		Form	Höhe (mV)	Anstiegszeit (ms)	Dauer (ms)	Rhythmus (1/s)
Muskelfasertyp 1 wave-activity	-24 bis -60	wave	10–24	1,0–3,5	24	8–32
Muskelfasertyp 2 spike-activity	-24 bis -40	spike	18–35	unter 0,2	1,0	8–18
Muskelfasertyp 3 spike-wave-activity:						
spike-Anteil:	-25 bis -45	spike	12–35	unter 0,2	1,0	12–36
wave-Anteil:	-25 bis -45	wave	10–24	1,0–3,5	24,0	12–36

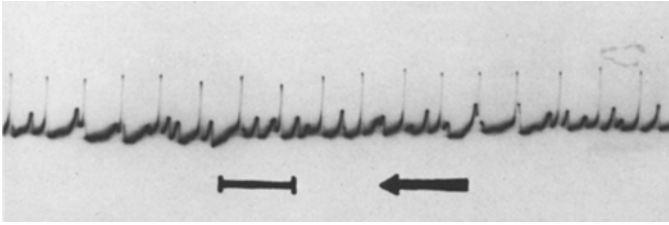


Abb. 5. Ableitung mit Glasmikroelektrode von einer "slow fiber mit spike-wave-activity", Muskelfasertyp 3. Muskelfasermembranruhepotential -42 mV. Höhe der postsynaptischen "spike-Potentiale" 25 mV, autonome Frequenz $18/s$, Potentialdauer 1 ms. Höhe der postsynaptischen Potentiale der "wave-Potentiale" $10-12$ mV, Relation beider Potentialformen $18 : 32$. Zeitmarkierung 100 ms

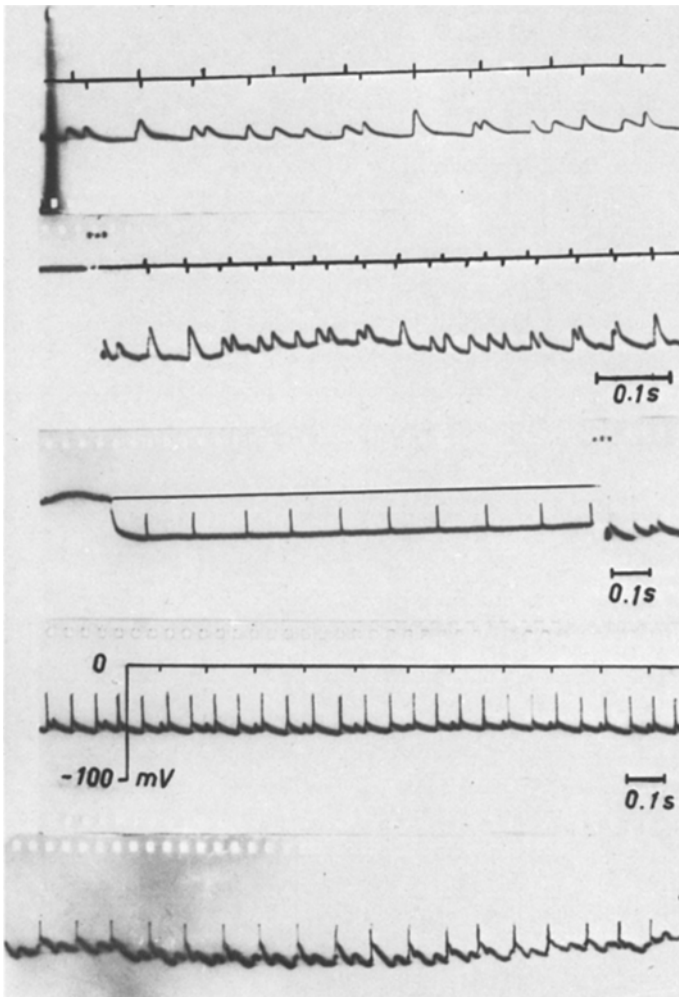


Abb. 6. Übersicht über die mit Glasmikroelektroden registrierten Muskelfaserpotentiale der "slow fibers": 1. Muskelfasertyp: "slow fiber mit wave-activity" (a und b) 2. Muskelfasertyp: "slow fiber mit spike-activity" (c) 3. Muskelfasertyp: "slow fiber mit spike-wave-activity" (d, e) Die verschiedenen Rhythmen der postsynaptischen Potentiale sind mit ihrer Phasenverschiebung in der oberen Markierung analysiert

Mit den vorgelegten Untersuchungsergebnissen konnten wir 3 verschiedene Muskelfasertypen im "slow-fibers-system" tonischer Augenmuskeln elektrophysiologisch charakterisieren. Außerdem gelang es, die sehr differente polyneurale Innervation der "slow fibers" anhand der 3 postsynaptischen Potentiale dieser 3 Muskelfasertypen nachzuweisen.

4. Diskussion

In der Diskussion sollen die Untersuchungsergebnisse interpretiert werden, die klinische Bedeutung der Befunde erörtert und erkennbare Forschungsrichtungen zusammengefaßt werden.

4.1. Diskussion der Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchungen über die elektrophysiologische Differenzierung der "slow fibers" äußerer Augenmuskeln sind sehr aktuell, da es bisher nicht gelang, die histologisch, histotopochemisch und elektronenmikroskopisch differenzierten "slow fibers" in ihren elektrophysiologischen Parametern zu analysieren.

Eine wesentliche Meinungsverschiedenheit zwischen Hess und Pilar (1963) sowie Bach-y-Rita und Ito (1966) besteht darin, daß sie auf Grund ihrer experimentellen Untersuchungen zu keiner einheitlichen Auffassung über die Muskelfaserpotentiale der "slow fibers" kamen.

Unsere Untersuchungsergebnisse über die "slow fibers mit wave-activity" bestätigen die Befunde von Hess und Pilar (1963), Matyushkin (1964), Matyushkin und Drabkina (1970) sowie von Breinin (1971). Auch wir fanden bei allen "slow fibers" keinen "overshoot" bei Muskelfaseraktionspotentialen.

Am interessantesten in der Auseinandersetzung über die weitere elektrophysiologische Differenzierung der tonischen "slow fibers" sind zur Zeit unsere Beobachtungen über die postsynaptischen Potentiale der 3 Muskelfasertypen der "slow fibers".

Während Matyushkin (1972) versucht, die "slow fibers mit wave-activity" weiter zu differenzieren, können wir über insgesamt 3 differente Muskelfasertypen des "slow-fibers-systems" berichten. Interessanterweise fanden wir erstmals in "slow fibers" eine "spike-activity" als autonome Depolarisationsform der Muskelfasermembran äußerer Augenmuskeln *in vivo*.

Der Nachweis der "spike-activity" hat gegenwärtig eine besondere Bedeutung, denn ein weiterer Fortschritt bei der Differenzierung der "slow fibers" war seit den Mitteilungen von Hess und Pilar (1963) ausgeblieben.

Durch diesen elektrophysiologischen Nachweis der 3 differenten Muskelfasertypen der "slow fibers" muß auch die ursprüngliche Interpretation der Dualitätstheorie der Okulomotorik in einem anderen Aspekt erscheinen, da die bisherige Darstellung als eine Vereinfachung der elektrophysiologischen Steuerungsmöglichkeiten der Augenbewegungen angesehen werden muß! —

Diese "spike-activity" in "slow fibers" äußerer Augenmuskeln ist auch nicht zu vergleichen mit den Aktionspotentialen der "slow fibers", wie sie Bach-y-Rita und Ito (1966) beschrieben. Denn die von uns nachgewiesene "spike-activity" der "slow

fibers" weist völlig differente Parameter auf und führt nicht zu Depolarisationen mit "overshoot".

Auch der 3. Muskelfasertyp, die "slow fibers mit spike-wave-activity" wurde in der erreichbaren Literatur bisher nicht publiziert! —

Das tonische Muskelfasersystem der "slow fibers" verfügt also über eine Vielzahl von Regulationsmöglichkeiten eines differenten Innervationsmodus, so daß eine sehr variable motorische Funktion der "slow fibers" gewährleistet ist.

Berücksichtigt man neben diesen 3 differenten Muskelfasertypen der "slow fibers" die "fast fibers", so stehen der normalen Okulomotorik aus elektrophysiologischer Sicht nach unseren heutigen Kenntnissen mindestens 4 Muskelfasertypen zur Verfügung. —

Nach unserer Analyse der postsynaptischen Potentiale der "slow fibers" müssen wir eine polyneurale Innervation sicher annehmen.

Beim Muskelfaserzelltyp 1, bei den "slow fibers mit wave-activity" mit unterschiedlichen autonomen Rhythmen ist es offensichtlich, daß die autonomen Depolarisationen von zwei oder mehreren Muskelfasermembranarealen ausgehen. Problematischer ist unseres Erachtens die Interpretation der polyneuronalen Innervation des 2. Muskelfasertypes mit "spike-activity" und des 3. Muskelfasertypes mit "spike-wave-activity".

Unseres Erachtens kann der Nachweis der Muskelfasertypen des "slow-fibers-systems" mit "spike-activity" und mit "spike-wave-activity" zu neuen histotopochemischen Differenzierungen der zugehörigen Nervenendigungen anregen.

Es gilt, auch histotopochemisch nach Muskelfasertypen zu fahnden, die eine polyneurale Innervation durch "terminaisons en plaque" und "terminaisons en grappe" aufweisen.

4.2. Diskussion über die klinische Bedeutung

Die tierexperimentellen Untersuchungen regen zur Diskussion folgender Probleme der Okulomotorik an:

1. Die Dualitätstheorie der Okulomotorik ist eine vereinfachte Darstellung der Regulationsmöglichkeiten der Augenbewegungen. Durch eine Präzisierung der klinischen Untersuchungsmethoden sollte u.E. den tonischen Bewegungsabläufen in der Okulomotorik von Neuem Aufmerksamkeit geschenkt werden. In erster Linie müssen die tonischen Bewegungsabläufe, die über das Labyrinth gesteuert werden, unter Berücksichtigung der experimentellen elektrophysiologischen Erkenntnisse erneut überprüft werden.
2. Für die klinische Ophthalmo-Elektromyographie ergibt sich die Forderung nach einer weiteren Vervollkommnung der Ableitungstechnik, um auch bei Routineuntersuchungen die bioelektrische Aktivität der "slow fibers" erfassen zu können, die in der Genese der labyrinthogenen Augenmotilitätsstörungen und beim Strabismus comitans von Bedeutung sein können.
3. Für die operative Ophthalmologie lassen die Untersuchungen über die topische Verteilung der "slow- und fast fibers" die Schlußfolgerung zu, daß z.B. beim Operationsverfahren nach O'Connor nur dann ein phasischer Bewegungseffekt postoperativ zu erwarten ist, wenn vorwiegend zentrale Muskelanteile der Mm. recti superiores et inferiores — also die phasisch wirksamen "fast fibers", die sich im Zentrum der äußeren

Augenmuskeln befinden — transponiert werden. Bei einer Verpflanzung peripher Muskelanteile der *Mm. recti superiores et inferiores* bei Paresen des *M. rectus lateralis* ist aus elektrophysiologischer Sicht kein phasischer Bewegungseffekt zu erwarten, da in den peripheren Muskelarealen vorwiegend die tonisch wirksamen "slow fibers" lokalisiert sind.

4.3. Diskussion über erkennbare Forschungsrichtungen

Wenn man die gegenwärtigen Kenntnisse, die bisherigen Literaturmitteilungen und unsere Ergebnisse über die elektrophysiologischen Parameter der Augenskelfasertypen des "fast fibers" und "slow-fibers-systems" berücksichtigt, lassen sich prognostisch die nachstehenden Forschungsschwerpunkte erkennen.

1. Eine weitere Identifizierung der Muskelfasertypen äußerer Augenmuskeln kann u.E. nur durch die Kombination der elektrophysiologischen mit den histotopochemischen Untersuchungsmethoden erfolgen. Es ist technisch möglich, nach vorangehenden elektrophysiologischen Bestimmungen der Muskelfasermembranruhepotentiale, der postsynaptischen Potentiale bzw. der Aktionspotentiale der betreffenden Muskelfasern elektrolytisch schwer diffundierbare Farbstoffe über ein- oder zweiläufige Glasmikroelektroden in die Muskelfaser einzubringen.

Nach dieser "in-vivo-Färbung" müßte dann die histologische bzw. histotopochemische Identifizierung der Muskelfaser sekundär erfolgen.

2. Unseres Erachtens sollten die elektrophysiologischen Untersuchungen zur weiteren Charakterisierung der verschiedenen Muskelfasertypen, insbesondere der "slow fibers" äußerer Augenmuskeln, fortgeführt werden. Eine Reihe von Augenmotilitätsstörungen können mit den Methoden der klinischen Ophthalmo-Elektromyographie bisher nicht sicher analysiert werden, weil die Grundlagenkenntnisse und die technischen Voraussetzungen für die klinischen elektromyographischen Untersuchungen der tonischen Augenskelfasern in der Routine-Ophthalmo-Elektromyographie noch nicht Allgemeingut sind.

3. In Fortsetzung der elektrophysiologischen Untersuchungen der "slow- und fast fibers" sollten auch die mechanischen Parameter der Muskelfasertypen bestimmt werden. Eine isolierte Reizung bzw. Elektrostimulation des A- α -Systems und des A- γ -Systems muß mit der Aufzeichnung der Kontraktionsabläufe auch bei den tonischen Muskelfasern verbunden werden.

4. Die histotopochemischen und elektrophysiologischen Untersuchungen müssen durch pharmakologische Testungen der differenten Muskelfasertypen in vitro und in vivo ergänzt werden.

Literatur

- Aichmair, H.: Zum histochemischen Fermentnachweis in den äußeren Augenmuskeln. *A.v. Graefes Archiv klin.exp. Ophthal.* 177, 152—157 (1969)
- 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.: Neurophysiology of extraocular muscles. *Invest. Ophthalm.* **6**, 229–234 (1967)
- 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)
- 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
- Meyer, R., Stockinger, L., Zenker, W.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen an unterschiedlich innervierten Muskelfasern der äußeren Augenmuskulatur des Rhesusaffen. *Zschr. Zellforsch.* **75**, 434–452 (1966)
- Mukuno, K.: The fine structure of human extraocular muscles. *Jap. J. Ophthalm.* **12**, 111–122 (1968)
- Namba, T., Nakamura, T., Grob, D.: Motor nerve endings in human extraocular muscle. *Neurology (Minneapolis)* **18**, 403–407 (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)
- 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)
- Kern, R.A.: A comparative pharmacologic-histologic study of slow and twitch fibers in the superior rectus muscle of the rabbit. *Invest. Ophthalm.* **4**, 901–910 (1965)
- Lavalleé, M., Schanné, O.F., Hébert, C.: Glass microelectrodes. New York–Sydney–Toronto: J. Wiley and Sons, INC 1969

- Ling, G., Gerard, R.: The normal membrane potential of frog sartorius fibers. *J. cell. comp. Physiol.* 34, 383–496 (1943)
- Opitz, H., Schulze, F.: Microelectrode studies in extraocular muscles of the rabbit. 2nd International Symposium on Motor Control Varna, Bulgaria, 3 rd-7th October 1972
- Opitz, H., Schulze, F.: Microelectrode studies in extraocular muscles of the rabbit. *Agressologie* 14, 1–6 (1973)
- Ozawa, T.: Multiple Innervation der extraokularen Muskelfasern des Kaninchens. *Acta Soc. ophthalm. Jap.* 69, 1064–1068 (1965)
- Peachey, L.: The morphology of the eye muscles. Symposium on the control of the eye Movements. San Francisco: 1969
- Pilar, G., Hess, A.: Differences in internal structure and nerve terminals of the slow and twitch muscle fibers in cat superior oblique. *Anat. Rec.* 154, 243–249 (1966)
- 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. Zeitschrift 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. Graefes Arch. klin. u. exp. Ophthalmologie*, 202, (1977)

Eingegangen am 25. Oktober 1976