

Die Struktur der Augenmuskeln als Ausdruck ihrer besonderen Funktion

Autor(en): **Mayr, Robert**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles =
Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg**

Band (Jahr): **64 (1975)**

Heft 1

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-308515>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die Struktur der Augenmuskeln als Ausdruck ihrer besonderen Funktion

VON ROBERT MAYR,

2. Anatomische Lehrkanzel der Universität Wien (derzeit: Institut für Anatomie und Spezielle Embryologie der Universität Freiburg/Schweiz)

Die äußeren Augenmuskeln (*Mm. recti et obliqui bulbi*) nehmen unter den quergestreiften Skelettmuskeln der Säuger in funktioneller und morphologischer Hinsicht eine Sonderstellung ein. Sie gewährleisten bei größter Präzision höchst unterschiedliche Formen von Augenbewegungen, wie rasche, ruckartige Blickbewegungen oder langsame, gleitende Folgebewegungen, und sind andererseits durch tonische Aktivität für das Festhalten der Augen in den verschiedensten Stellungen verantwortlich. Diese besonderen funktionellen Anforderungen finden ihren Niederschlag auch in besonderen Strukturmerkmalen. Die eigenen Untersuchungen befaßten sich (1) mit der Analyse der Muskelfaser-Zusammensetzung der Augenmuskeln mit besonderer Beachtung von funktionell bedeutsamen Strukturunterschieden der Muskelfasertypen sowie (2) mit Besonderheiten der Architektur von Augenmuskeln.

(1) In licht- und elektronenmikroskopischen Untersuchungen an der Ratte (MAYR, 1971) ließ sich eine Zusammensetzung der Augenmuskeln aus 5 bis 6 verschiedenen Muskelfasertypen zeigen, die sich auf zwei distinkte Muskelzonen verteilen. Die vorwiegend orbitaseitig gelegene Randschicht der Muskeln (Orbitalzone) besteht aus zwei Populationen von durchwegs dünnen Muskelfasern. Bei der größeren Population (80 %) handelt es sich um einen Typ von einfach (= fokal) innervierten, mitochondrienreichen Fasern mit gut ausgebildetem sarkotubulärem System. Die Fasern des andern Typs (20 %) sind multipel innerviert, mitochondrienarm, extrem dünn und nur spärlich mit sarkotubulärem System ausgestattet. Die zweite Schicht der Augenmuskeln, die dem Augapfel zugewandt ist und in den Kern der Muskeln hineinreicht (Bulbärzone), ist durch eine bunte Mischung von Fasern verschiedener Typen gekennzeichnet, die durchschnittlich dickeres, jedoch breit streuendes Kaliber aufweisen. Ein Typ multipel innervierter Fasern (10 % der Fasern dieser Zone) ist von allen übrigen besonders deutlich unterscheidbar. Es handelt sich um einheitlich mitteldicke Fasern mit extrem geringem Gehalt an Mitochondrien und sarkotubulärem System, was ein Dominieren von breiten, schlecht abgrenzbaren Fibrillen erklärt (Felderstruktur). Die restlichen 90 % der Fasern der Bulbärzone sind einfach (= fokal) innerviert. Hinsichtlich Faserdurchmesser und Mitochondriengehalt stellen sie ein breites Spektrum von Fasern mit weit auseinanderliegenden Extremen dar, die sich jedoch aufgrund der Übergangsformen nicht scharf voneinander abgrenzen lassen. Das Spektrum reicht von dünnen, sehr mitochondrienreichen Fasern über einen Intermediärtyp bis zu dicken, relativ mitochondrienarmen Fasern. Das sarkotubuläre System ist bei allen Fasern dieses Spektrums in gleichem Ausmaß stark entwickelt und grenzt sehr dünne Myofibrillen deutlich voneinander ab (Fibrillenstruktur).

Grundsätzlich ähnliche Verhältnisse der Faser-Zusammensetzung sind inzwischen auch am Augenmuskel von Schaf (HARKER, 1972) und Katze (ALVARADO, 1974) nachgewiesen worden.

Multipel innervierte extrafusale Muskelfasern stellen beim Säuger eine Besonderheit der Augenmuskeln dar und sind in gewöhnlichen Skelettmuskeln der Mammalia nicht zu finden. Beide Typen multipel innervierter Fasern ähneln in Innervation und Ultrastrukturmerkmalen den sog. «slow fibres» des Frosches und der Vögel (HESS, 1970). Sie dürften für besonders langsames, «tonisches» Kontraktionsverhalten verantwortlich sein. Zur Unterscheidung zweier Typen solcher Fasern (ein Typ in der Orbitalzone, ein Typ in der Bulbärzone) berechtigt uns neben Strukturunterschieden (Faserkaliber, Mitochondriengehalt) auch ein unterschiedliches Enzymmuster (ASMUSSEN et al., 1971; MAYR, 1973). Die Existenz zweier Typen multipel innervierter Fasern bietet eine Möglichkeit der Erklärung divergenter physiologischer Befunde für die Eigenschaften der «slow fibres» des Katzenaugenmuskels (HESS und PILAR, 1963; BACH-Y-RITA und ITO, 1966).

Die einfach innervierten Fasern der Bulbärzone müssen aufgrund ihres sehr hohen Gehalts an sarkotubulärem System für besonders schnell arbeitende «twitch fibres» gehalten werden. Ihr variabler Mitochondriengehalt darf als Ausdruck ihrer Fähigkeit zu mehr oder weniger ausdauernder Aktivität gelten. Diese Fasern dürften den Augenmuskel zu seiner lange bekannten, besonders hohen Kontraktionsgeschwindigkeit bei hoher Fusionsfrequenz befähigen. Der histochemische Nachweis der myofibrillären ATPase zeigte in Übereinstimmung damit, daß alle fokal innervierten Fasertypen die ATPase des «schnellen Myosins» (alkalischstabil/säurelabil) besitzen (MAYR, 1973), d. h. daß «slow twitch fibres» entsprechend jenen der gewöhnlichen Skelettmuskeln im Augenmuskel fehlen. – Aus morphometrischen Analysen geht hervor, daß die einfach innervierten Fasern der Orbitalzone weniger an sarkotubulärem System enthalten als jene der Bulbärzone. Wir halten sie daher für etwas langsamer arbeitende «fast twitch fibres». Ihr durchwegs hoher Mitochondriengehalt läßt auf ausdauernde Kontraktionsleistung rückschließen.

Insgesamt scheint die Bulbärzone mehr auf Schnelligkeit, die Orbitalzone mehr auf Ausdauer der Kontraktion spezialisiert zu sein. Der physiologische Nachweis dafür, welche Muskelfasertypen bei den verschiedenen Formen von Augenbewegungen aktiv sind bzw. in welchem Ausmaß sie beteiligt sind, steht indes noch aus.

(2) Am Augenmuskel der Katze konnten wir noch interessante Besonderheiten der Muskelarchitektur feststellen (MAYR et al., 1975). Sie widerlegen die landläufige Ansicht, daß Augenmuskeln parallelfaserige Muskeln sind, bei denen alle Fasern von Sehne zu Sehne durchlaufen. Wir fanden nämlich im Katzenaugenmuskel eine besonders große Zahl sog. Muskelfaserbrücken, wie wir sie zuvor schon am Vogelmuskel beobachtet und näher beschrieben hatten (MAYR et al., 1967). Solche Brücken sind direkte Verbindungen zweier Muskelfasern ohne Zwischenlagerung von Sehnenmaterial. Sie können aufgrund ihrer Cholinesterase-Aktivität histochemisch sichtbar gemacht werden. Eine Analyse entsprechender Präparate durch Mikrodissektion ergab, daß die fokal inner-

vierten Muskelfasern der Bulbärzone der Katze über solche Brücken untereinander verbunden sind, so daß eine Vernetzung und Serienschaltung dieser Fasern zustande kommt. Die Länge der einzelnen Fasern erreicht oft nur ein Drittel der Muskellänge. Demgegenüber durchlaufen die multipel innervierten Fasern dieser Zone, wie übrigens auch alle Fasern der Orbitalzone (in der solche Brücken fehlen), immer die ganze Muskellänge. Wir schreiben den Brücken nur mechanische Bedeutung zu. Die Serienschaltung gerade der schnellen Fasern könnte einer Herabsetzung der Kontraktionszeit dienen, ist doch bekannt, daß die Erregungsleitung entlang der Muskelfaser bedeutend langsamer erfolgt als an den Nervenfasern. Der Vorteil einiger kurzer, in Serie geschalteter, fokal innervierter Fasern gegenüber einer einzigen langen Faser bestünde also in einer Beschleunigung der Koppelung von Exzitation und Kontraktion dieses Systems. – Der Augenmuskel der Albinoratte besitzt diese Baueigentümlichkeiten trotz ähnlicher Muskelfaserzusammensetzung nicht. Die Baumerkmale der Augenmuskeln dürften somit speziesabhängig sein.

Literatur:

- ALVARADO, J.: Morphology of eye muscles. In: Symposium über «Basic mechanisms of ocular motility and their clinical implications», Stockholm 1974.
- ASMUSSEN, G., KIESSLING, A., und WOHLHAB, F.: Histochemische Charakterisierung der verschiedenen Muskelfasertypen in den äußeren Augenmuskeln von Säugetieren. *Acta anat.* 79, 526–545 (1971).
- BACH-Y-RITA, P., and ITO, F.: In vivo studies of fast and slow muscle fibers in cat extraocular muscles. *J. Gen. Physiol.* 49, 1177–1198 (1966).
- HARKER, D. W.: The structure and innervation of sheep superior rectus and levator palpebrae extraocular muscles. I. Extrafuscal muscle fibers. *Invest. Ophthalmol.* 11, 956–969 (1972).
- HESS, A.: Vertebrate slow muscle fibers. *Physiol. Rev.* 50, 40–62 (1970).
- HESS, A., and PILAR, G.: Slow fibers in the extraocular muscles of the cat. *J. Physiol. (Lond.)* 169, 780–798 (1963).
- MAYR, R.: Structure and distribution of fiber types in the external eye muscles of the rat. *Tissue & Cell* 3, 433–462 (1971).
- MAYR, R.: Morphometrie von Ratten-Augenmuskelfasern. *Verh. Anat. Ges.* 67, 353–358 (1973).
- MAYR, R., ZENKER, W., und GRUBER, H.: Zwischensehnenfreie Skelettmuskelfaser-Verbindungen. *Z. Zellforsch.* 79, 319–325 (1967).
- MAYR, R., GOTTSCHALL, J., GRUBER, H., and NEUHUBER, W.: Internal structure of cat extraocular muscle. *Anat. Embryol* 148, 25–34 (1975).