

Über die submikroskopische Organisation der Glanzstreifen (Eberthlinien) der Vorhof- und Kammermuskulatur des Herzens

Nach den elektronenmikroskopischen Untersuchungen¹⁻⁵ hat die Herzmuskulatur – ähnlich wie die Skelettmuskulatur – zellulären Bau und die Eberth'schen Glanzstreifen stellen spezielle Verbindungen zwischen den zelligen Einheiten des Myokardiums dar. Nach SPERELAKIS et al.⁶ beträgt der Membranwiderstand zwischen dem Innern zweier benachbarter Zellen annähernd das Doppelte des Widerstandes einer Zelle, und so ist der Herzmuskel auch in funktionellem Sinne nicht als Syncytium zu betrachten. Die obigen Autoren vermuten daher irgendeinen Transmissionsmechanismus, der bei den Glanzstreifen die Übertragung von Zelle zu Zelle sichert. In früheren Untersuchungen⁷ wiesen wir nach, dass die Eberth'schen Linien der Kammermuskulatur der Ratte eine gut definierte, mit histochemischen Methoden nachweisbare Cholinesteraseaktivität zeigen, die eine wesentliche Rolle in der mit Hilfe eines humoralen Transmissionsmechanismus zustandekommenden Reizleitung von Zelle zu Zelle spielen dürfte.

Nach den elektronenmikroskopischen Aufnahmen war anzunehmen, dass die geordnete Struktur der Glanzstreifen im Polarisationsmikroskop eine analysierbare Doppelbrechung erzeugt. Die vorliegende Arbeit berichtet über die polarisationsoptischen Untersuchungen der Eberthlinien in der Vorhof- und Kammermuskulatur der weissen Ratte mit Hilfe des Zeiss'schen «POLMI»-Polarisationsmikroskops unter Benutzung eines $\lambda/4$ -Kompensators.

Ergebnisse. In den frischen Gefrierschnitten zeigten die Glanzstreifen sowohl der Vorhof- als auch der Kammermuskulatur eine wohldefinierte, positive Formdoppelbrechung, deren Grad in den Lösungen mit verschiedenem Brechungsindex Figur 1 A und 2 A veranschaulichen. Nach 30 min langer Extraktion der Lipide in einem aa Chloroform-Methanolgemisch zeigten die Glanzstreifen der Vorhof- und Kammermuskulatur einen entgegengesetzten Polarisierungseffekt: Der Doppelbrechungswert der Eberthlinien war in der Vorhofmuskulatur erhöht und in der Kammermuskulatur geringer als vor der Lipoidextraktion (Figur 1 B und 2 B).

Diese Befunde können so ausgelegt werden, dass für den polarisationsoptischen Effekt der Eberthlinien die senkrecht zur Längsachse der Muskelfasern orientierten Eiweissmoleküle verantwortlich sind und deren micellare Organisation die positive Formdoppelbrechung bewirkt. Die nach der Lipoidextraktion erhöhte Restdoppelbrechung erklärt sich daraus, dass in normalem Zustande die Lipoidmoleküle senkrecht zu den Eiweissmicellen angeordnet sind und deren positive Doppelbrechung herabsetzen. In den Eberthlinien der Kammermuskulatur liegen die Dinge wesentlich anders. Der Umstand nämlich, dass nach der Lipoidextraktion die Doppelbrechungswerte geringer werden, weist darauf hin, dass hier die Lipoidmoleküle quer zur Längsachse der Muskelfaser angeordnet waren – möglicherweise als Ergebnis einer komplizierten Verbindung mit einem parallel zur Muskelfaserlängsachse orientierten Eiweissgrundskelett.

Diesen Ergebnissen zufolge scheint bei der Mehrheit der Eberthlinien im Vorhof die die benachbarten Zellen voneinander trennende Plasmamembran annähernd gerade bzw. weitaus weniger wellig zu verlaufen als in der Kammermuskulatur.

Im weiteren wurden mit Hilfe des ROMHÁNYISCHEN, auf der Präzipitationsanisotropie beruhenden Verfahrens⁸ die polarisationsmikroskopisch erfassbaren Strukturen der

Vorhof- und Kammermuskulatur untersucht. Hiermit kann auch die Doppelbrechung der verborgen angeordneten submikroskopischen Strukturen – wahrscheinlich infolge orientierten Einbaues des Rivanols zwischen die organisierten Lipoidmoleküle – sichtbar gemacht und verstärkt werden. Auch bei Anwendung dieser Methode konnte die abweichende submikroskopische Struktur der Eberthlinien in der Vorhof- und Kammermuskulatur nachgewiesen werden (Figur 3): während die Glanzstreifen der Vorhöfe hinsichtlich ihrer eigenen Achse eine negative Doppelbrechung zeigen, produzieren die der Kammermuskulatur grösstenteils eine gut definierte, positive Doppelbrechung. (Bemerkenswerterweise sind in den Schnitten aus der Kammermuskulatur auch Glanzstreifen anzutreffen, die – ähnlich denen der Vorhöfe – eine negative Doppelbrechung aufweisen.)

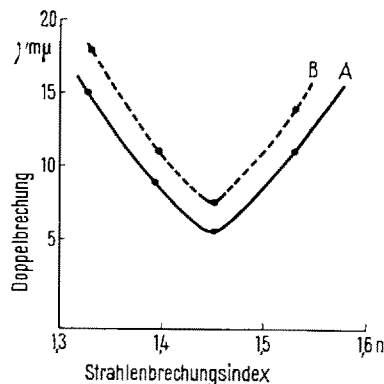


Fig. 1. Die Doppelbrechungswerte einer Eberthlinie in Lösungen mit verschiedenem Brechungsindex (Vorhofmuskulatur). (A) Vor der Lipoidextraktion, (B) nach der Lipoidextraktion.

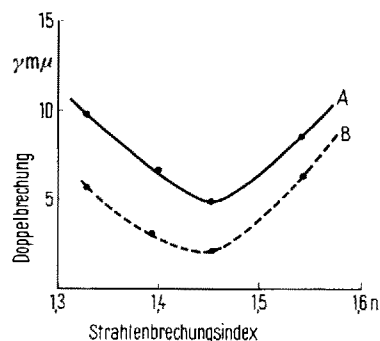


Fig. 2. Die Doppelbrechungswerte einer Eberthlinie in Lösungen mit verschiedenem Brechungsindex (Kammermuskulatur). (A) Vor der Lipoidextraktion, (B) nach der Lipoidextraktion.

¹ J. L. VAN BREEMEN, *Anat. Rec.* 117, 49 (1953).

² F. S. SJÖSTRAND und E. ANDERSSON, *Exper.* 10, 369 (1954).

³ R. POCHÉ und E. LINDNER, *Z. Zellforsch. mikr. Anat.* 43, 101 (1955).

⁴ D. H. MOORE und H. RUSKA, *J. biophys. biochem. Cytol.* 3, 261 (1957).

⁵ D. W. FAWCETT und C. C. SELBY, *J. biophys. biochem. Cytol.* 4, 63 (1958).

⁶ N. SPERELAKIS, T. HOSHITO und R. M. BERNE, *Amer. J. Physiol.* 198, 531 (1960).

⁷ F. JOÓ und B. CSILLIK, *Nature* 193, 1192 (1962).

⁸ GY. ROMHÁNYI, *Morph. és Igazs. Orv. Szemle* 2, 161 (1962) (ungarisch).

Beachtenswert ist ferner, dass sowohl in der Vorhof- als auch in der Kammermuskulatur das polarisationsoptische Bild nach Hyaluronidase- oder Diastaseverdauung unverändert bleibt und so die von GOLDSTEIN⁹ nachgewiesene PAS-positive Substanz im polarisationsoptischen Effekt der Glanzstreifen vermutlich nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Die erhaltenen Ergebnisse beweisen eindeutig, dass im submikroskopischen Bau der Glanzstreifen der Vorhof- und Kammermuskulatur Unterschiede bestehen. MUIR¹⁰ spricht im Welligwerden der Plasmamembran der Glanzstreifen der mechanischen Zugkraft der Muskelfasern grosse Bedeutung zu. In Kenntnis seiner Untersuchungen ist es vorstellbar, dass die im Polarisationsmikroskop aufgedeckten ultrastrukturellen Unterschiede mit dem ver-

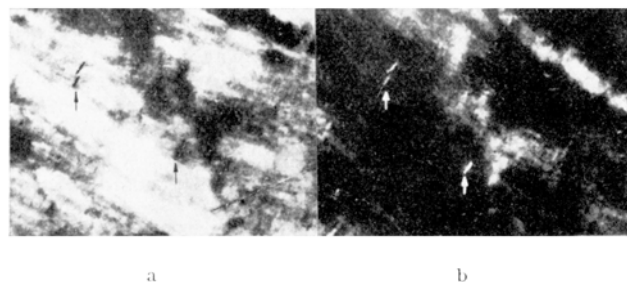


Fig. 3. (a) Vorhofmuskulatur. Doppelbrechung der Eberthlinien nach Rivanolfärbung (Pfeile, $\times 348$). (b) Die gleiche Aufnahme in entgegengesetzter Kompensation ($\gamma m\mu = -17$).

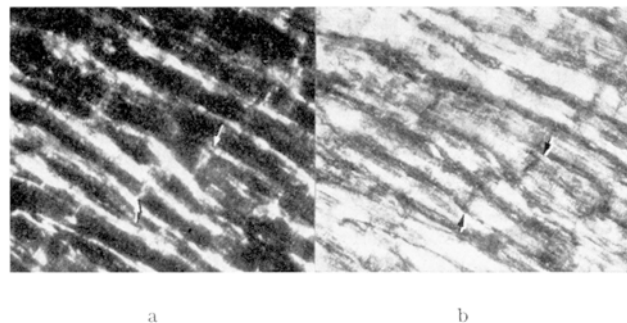


Fig. 4. (a) Kammermuskulatur. Doppelbrechung der Eberthlinien nach Rivanolfärbung (Pfeile, $\times 464$). (b) Die gleiche Aufnahme in entgegengesetzter Kompensation ($\gamma m\mu = +10$).

schiedenen Fibrillengehalt der Vorhof- und Kammermuskulatur zu erklären sind. Infolge der mechanischen Wirkung der Muskelfasern können nämlich die Eiweiss- und Lipoidmoleküle der ursprünglich quer zur Längsachse der Muskelfasern verlaufenden Plasmamembran in eine mit der Muskelfaserachse parallele Lage kommen und so die abweichende submikroskopische Struktur hervorbringen.

Da die Rivanolfärbung an formalinfixiertem Material erfolgt und wir aus den Untersuchungen von CSILLIK wissen¹¹, dass das Formalin die geordnete Struktur der labilen Lipoproteine aufhebt, ist anzunehmen, dass es uns gelungen ist, mit dem präzipitations-anisotropischen Verfahren die zwischen zwei benachbarten Plasmamembranen befindliche Lipoidschicht sichtbar zu machen, die nach SJÖSTRAND et al.¹² eine die benachbarten Muskelzellen zusammenhaltende Kittsubstanz ist.

Zur Entscheidung der Frage, ob die abweichende Struktur der in der Vorhof- und Kammermuskulatur befindlichen Glanzstreifen sich auch im histochemischen Bau widerspiegelt, sind weitere Untersuchungen im Gange¹³.

Summary. By means of polarization microscope, the submicroscopic structure of intercalated discs in auricle and ventricle muscles of rat heart were investigated using an imbibition method and precipitation anisotropic staining. The investigation proved that the protein and lipid parts in intercalated discs of auricle muscles are, on the contrary, arranged like intercalated discs of ventricle muscles.

The ultrastructural variance revealed can be explained by mechanical effects exerted by the myofibrils on the plasma membranes which separate the adjacent heart muscle cells.

F. Joó

Anatomisches Institut der medizinischen Universität,
Szeged (Ungarn), 1. Februar 1963.

⁹ D. J. GOLDSTEIN, *Anat. Rec.* 134, 217 (1959).

¹⁰ A. R. MUIR, *J. biophys. biochem. Cytol.* 3, 193 (1957).

¹¹ B. CSILLIK, *Nature* 183, 1683 (1959).

¹² F. S. SJÖSTRAND, E. ANDERSSON-CEDERGREN und M. M. DEWEY, *J. Ultrastructure Res.* 1, 271 (1958).

¹³ **Danksagung.** Dem Verfasser ist es eine angenehme Pflicht, Herrn Dr. B. CSILLIK für seine Ratschläge und kritischen Bemerkungen bei der Auswertung der Ergebnisse sowie Herrn Gy. KÁLMÁN und Frau Kl. HERRLER für ihre wertvolle technische Hilfe auch an dieser Stelle seinen Dank auszusprechen.

Oxydation der Zucker durch Süssmandelemulsin (Rohferment nach HELFERICH)

Emulsin, das bekannte Fermentpräparat der Süssmandeln, kann man in konzentrierten Zuckerlösungen zur Synthese der β -D-glucosidischen Bindung benützen¹. So entsteht zum Beispiel in einer etwa 60%igen D-Glucoselösung durch Einwirkung von Emulsin ein Gemisch von Disacchariden, in welchem die Gentiobiose vorherrscht². Als Akzeptoren der D-Glucose können bei dieser Transglykosylierungsreaktion auch andere Zucker oder andere Hydroxylverbindungen dienen. Bei papierchromatographischer Untersuchung einer durch Emulsin (Rohferment nach HELFERICH)³ katalysierten Glucosylier-

ung von 2-Desoxy-D-glucose und 2-Desoxy-D-galaktose fanden sich ausser den erwarteten desoxyzuckerhaltigen Oligosacchariden auch Substanzen, welche mit den Reagenzien auf 2-Desoxyzucker⁴ positiv reagierten, dessen

¹ S. VEIBEL, in *The Enzymes*, Band I, Teil I (Academic Press, New York 1950), p. 618.

² S. PEAT, W. J. WHELAN und K. A. HINSON, *Nature* 170, 1056 (1952).

³ B. HELFERICH, S. WINKLER, R. GOOTZ, O. PETERS und E. GÜNTHER, *Z. physiol. Chem.* 208, 91 (1932).

⁴ A. P. McLENNAN, H. M. RANDALL und D. W. SMITH, *Anal. Chem.* 31, 2020 (1959).