

Zur Mechanik der Protoplasmafibrillenbewegung

Durch elektronenmikroskopische Untersuchungen ist heute der fibrilläre Bau der Geisseln^{1,2,3} und auch des quergestreiften Muskels⁴ bereits weitgehend bekannt. Nach HUXLEY⁵ ist die Muskelkontraktion Folge der parallelen Längsverschiebung zweier Fibrillensysteme: Die sekundären Protofibrillen (Durchmesser ca. 50 Å, aus Aktin) werden in das System der primären Protofibrillen (Durchmesser ca. 100 Å, aus Myosin) hineingezogen. Das Wesen des Vorganges, der zur Bewegung führt, ist aber noch unbekannt. Hypothetisch sah man zwar bis vor Kurzem die Ursache der Geissel- und Muskelbewegung in der Kontraktion einzelner Fibrillen, doch konnte der Nachweis einer Fibrillenverkürzung bzw. der damit verbundenen Verdickung nicht erbracht werden.

Auf Grund der ultramikroskopischen Lebendbeobachtung von Plasmafibrillen bzw. Fibrillenbündel in ausgepressten Plasmotropfen der Characeen^{6,7} erscheint nun die Möglichkeit gegeben, die Vorstellung vom Mechanismus der Geissel- und Muskelbewegung auf eine neue Grundlage zu stellen.

Die beobachtete Fibrillenbewegung ist eine Verschiebung in der Längsrichtung, wobei umgebende Plasmabereiche, kenntlich an winzigen Mikrosomen, einen parallel entgegengesetzt gerichteten Impuls erhalten. Die Fibrillen stossen sich also mit einer physikalisch nicht näher bekannten parallel-längsverschiebenden Kraft entlang ihrer ganzen Länge von der Umgebung ab. Sie vereinigen sich oft zu Strängen (Fig. 1), bzw. spulen sich zu dickeren, rotierenden Ringen auf. Diese dickeren Fibrillenbündel haben eine geringere Längsverschiebung, jedoch lassen sie ein neues Phänomen erkennen: Es zeigen sich an ihnen Wellen, die in der Richtung der Längsverschiebung über den Strang weiterlaufen. An den aufgespulten Fibrillenringen laufen die Wellen in Form von Ecken herum, sodass rotierende Fünf- oder Sechsecke entstehen, deren Ecken vorlaufen. Der Strangabschnitt zwischen den Ecken wird dabei völlig geradlinig versteift (Fig. 2). Die Fähigkeit zur geradlinigen Versteifung dürfte ebenfalls eine Eigenschaft nur dickerer Fibrillenbündel sein. Diese Fibrillenbündelbewegungen erinnern sehr an Geissel- oder Zilienbewegungen. Besonders ähnlich verhalten sich z.B. die Filopodien von *Actinophrys sol* (Heliozoa) und die Zilien von *Collotheca ornata* (Rotatoria).

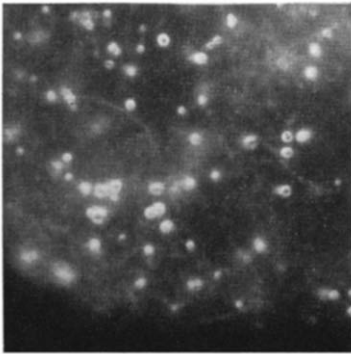


Fig. 1

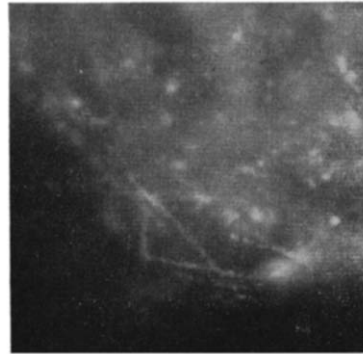


Fig. 2

Teile zweier im Zellsaft liegender Plasmotropfen von *Tolypellopsis* sp. (Characeae). (Blitzaufnahme, aplanatischer Dunkelfeldkondensor, ca. 2000 mal vergrößert).

Fig. 1. Der nach oben ragende Teil eines rotierenden Fibrillenringes ist deutlich sichtbar.

Fig. 2. Ein geradlinig erstarrter Fibrillenstrang lässt ein Eck erkennen. Solche Ecken laufen über die Stränge.

Es ist nun auffallend, dass die wellenförmige, d.h. geisselähnliche Bewegung nur an dickeren Fibrillenbündeln erkennbar ist, nicht aber an den sie zusammensetzenden feineren Fäden. Löst sich ein dicker, wellenförmig bewegter Ring auf, so zeigen dann die entstandenen feineren Fadenteile wohl eine starke Längsverschiebung, nie aber Wellenbewegungen. Anscheinend resultiert also die wellenförmige (geisselartige) Bewegung aus der Vereinigung und gegenseitigen Beeinflussung der einzeln zwar zur Längsverschiebung, nicht aber zur Kontraktion befähigten Fäden. Dies ist verständlich. Denn, kommt es innerhalb eines Fibrillenbündels (Geissel) infolge der von einzelnen Fibrillen ausgehenden parallel-längsverschiebenden Kräfte zu einer auch nur geringfügigen Parallelverschiebung benachbarter Fibrillen, so wird dies aus mechanischen Gründen zu einer Krümmung des ganzen Bündels führen.

Bei den Characeen bewirken die von den Plasmafibrillen ausgehenden Kräfte die dauernde

Parallelverschiebung des inneren Plasmas (Rotationsströmung). Lösen sich Teile aus der fibrillär aufgebauten peripheren Plasmaschichte los, z.B. einzelne Chloroplasten, so vermögen sie sich im inneren Protoplasma wie aktiv zu bewegen, weil an ihnen noch Fibrillen haften⁶.

Bei der Gleitbewegung vieler niederer Organismen (Diatomeen, *Euglena*, *Gregarina*, *Oscillatoria*, *Spirulina*, *Beggiatoa*) wirken anscheinend die parallel verschiebenden Kräfte nach aussen, auf an der Zelloberfläche ausgeschiedene Plasmaelemente, die dann einen abgeschiedenen Schleim parallel zur Zelloberfläche bewegen können. Das bedingt einen viel rationelleren Bewegungseffekt als etwa durch blosses Stemmwirken infolge Gallertausscheidung (Desmidiaceen) erzielt werden kann⁸.

So lassen sich also offenbar vier sehr verschiedenartige Lebensbewegungen auf dasselbe qualitative Prinzip, nämlich die Fähigkeit der Fibrillen zur Parallel-Längsverschiebung zurückführen. Die Unterschiede dürften nur in quantitativer Hinsicht, vor allem in der Dauer der Verschiebungszeit, bzw. in der Art des Richtungswechsels zu suchen sein. Damit scheint die alte schon von VERWORN⁹ u.a. vertretene Auffassung, alle Bewegungserscheinungen des Protoplasmas seien die Folge eines einzigen Prinzips, Bestätigung zu finden.

R. JAROSCH

Biologisches Laboratorium der Österreichische Stickstoffwerke A.G., Linz (Österreich)

¹ W. VAN ITERSOM, *Biochim. Biophys. Acta*, 1 (1947) 527.

² A. L. HOUWINK AND W. VAN ITERSOM, *Biochim. Biophys. Acta*, 5 (1950) 10.

³ A. L. HOUWINK, *Biochim. Biophys. Acta*, 10 (1953) 360.

⁴ H. E. HUXLEY, *Biochim. Biophys. Acta*, 12 (1953) 387.

⁵ H. E. HUXLEY, *Endeavour*, 15 (1956) 177.

⁶ R. JAROSCH, *Phyton (Buenos Aires)*, 6 (1956) 87.

⁷ R. JAROSCH, *Österr. Akad. Wiss. Math.-naturw. Kl. Anz.*, 93 (1956).

⁸ R. JAROSCH, *Zur Gleitbewegung der niederen Organismen*, (in Vorbereitung).

⁹ M. VERWORN, *Die Bewegung der lebendigen Substanz*, Jena (1892).

Eingegangen den 25. Februar 1957

Optical rotation and anion binding in acid solutions of serum albumin*

Almost all the physico-chemical properties of serum albumin in aqueous solution undergo marked changes¹ as the pH is lowered into the range of 4 to 2. Specific rotation, for example, changes^{2,3} from about -62° at pH 4 to -87° at pH 2. In contrast to some other characteristics, the change in levorotation is reduced substantially by added salt³. With 0.1 M NaCl³, $[\alpha]_D$ at pH 2 is only about -67° ; with 0.2 M NaCl, -62° .

The changes in characteristics of serum albumin in the acid range have generally been attributed to swelling of the macromolecule due to the strong internal electrostatic repulsions developed in the protein as it becomes increasingly cationic with drop in pH. On this basis the effect of salt in reducing the change in levorotation has been ascribed³ to an ionic strength effect which decreases the electrostatic repulsions.

Since Cl⁻ is bound to serum albumin, and increasingly so in more acid solutions⁴, it seemed possible that the effect of salt on levorotation might not be due to a general ionic strength effect but rather might be a consequence of the formation of specific complexes with cationic residues of the protein. A choice between these two explanations can be made by examining the effect on $[\alpha]_D$ of a much more strongly bound anion which can combine with the protein at concentrations much lower than 0.1 M. For this purpose we have measured the optical rotation of 1% bovine serum albumin in the presence of sodium dodecyl sulfate at concentrations below 0.005 M. As the data in Fig. 1 illustrate, dodecyl sulfate reduces substantially the upward rise in levorotation as the pH is lowered from 4 to 2.

In the two detergent-albumin solutions, the ratio of anion to protein is 15:1 and 30:1, respectively. In view of the binding results of KARUSH AND SONENBERG⁵ at higher pH's, it seems very likely that substantially all of the anion is bound to the protein in the acid range. Consequently the net positive charge on serum albumin must be reduced by 15 and 30 in the respective detergent solutions, as compared to solutions without dodecyl sulfate. In water alone, bovine albumin reaches an $[\alpha]_D$ of -77° at pH 3, where the protein carries a net charge of about +50 (+60 due to added protons, -10 due to⁴ bound chloride from added acid). In the presence of 0.005 M dodecyl sulfate, a strongly-bound competing anion, little or no chloride is likely to be bound by the protein. In this detergent solution, a net charge of +50 ought to be acquired by

* This investigation was assisted by a grant from the National Science Foundation.