

Ионная теорія мышечнаго сокращенія.

И. Лазарева.

Вопросъ о природѣ мышечнаго сокращенія находится въ тѣсной связи съ вопросомъ о силахъ, вызывающихъ движеніе организованной матеріи вообще. По представленіямъ Бертольда ¹⁾ эти силы представляются силами поверхностнаго натяженія и исходя изъ такихъ воззрѣній онъ объяснилъ явленія движенія протоплазмы внутри клѣтокъ.

Силы поверхностнаго натяженія были привлечены далѣе Квинке ²⁾, а затѣмъ Бючли къ объясненію явленій амебoidalнаго движенія и Ферворномъ ³⁾ къ объясненію хемотаксиса. Наконецъ, въ весьма важной работѣ Бернштейна ⁴⁾ показываетъ качественно, что и сокращенія, мышцы могутъ быть сведены къ тѣмъ же силамъ. Эти соображенія мнѣ ⁵⁾ удалось развить далѣе и дать теорію распространенія возбужденія въ амебoidalныхъ отросткахъ, основываясь на явленіяхъ поверхностнаго натяженія.

Теорія Бернштейна, указавъ роль измѣненій поверхностнаго натяженія при сокращеніяхъ мышцы, не позволила установить какихъ-либо *количественныхъ* соотношеній между раздражителемъ и эффектомъ. Между тѣмъ правильно поставленная теорія должна была бы дать связь не только между этими величинами, но и позволить дать уравненіе кривыхъ сокращеній мышцы при разныхъ условіяхъ работы. Однако въ этомъ отношеніи попытки, сдѣланныя физиологами ⁶⁾, до сихъ поръ не только не дали удовлетворительныхъ результатовъ, но и заставили Фрея высказаться такъ: „Попытки отождествить кривыя (сокращенія) съ коническими сѣченіями или вывести ихъ

¹⁾ Berthold. Studien über Protoplasmamechanik. Leipzig. 1886.

²⁾ G. Quincke. Annalen d. Physik. 35 p. 580. 1888.

³⁾ M. Verworn. Allgemeine Physiologie. 1894.

⁴⁾ J. Bernstein. Die Kräfte der Bewegung in der lebenden Substanz. Braunschweig. 1902.

⁵⁾ И. Лазаревъ. Журн. Русск. Физ. Хим. Общ. часть физич. 43, стр. 157. 1911

⁶⁾ Volkmann. Leipz. Verhandl. 1851:

Valentin. Zeitschr. f. Biol. 16, p. 129, 1880 и 17, p. 157, 1881;

Jendrassik. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1874, p. 513;

Kohnstamm. Arch. f. Physiol. 1893, p. 49.

уравнение изъ опредѣленныхъ предположеній относительно природы мышечной дѣятельности, при вѣточности и неполнотѣ предположеній, мало общають успѣха“ ¹⁾).

Развитая мною іонная теорія возбужденія позволяетъ однако и здѣсь задачу о возбужденіи вывести изъ достаточно общихъ предположеній, несомнѣнность которыхъ является установленной рядомъ опытовъ.

Изложеніе общей количественной теоріи сокращенія мышцы, основывающейся на представленіяхъ объ измѣненіи поверхностнаго натяженія въ веществахъ мышцы и составляетъ предметъ настоящей работы.

Общая теорія обмена веществъ въ мышцѣ при ея сокращеніи.

Всякое раздраженіе, приложенное или непосредственно къ мышцѣ или доставленное ей черезъ посредство центральной нервной системы, вызываетъ въ мышечной ткани рядъ химическихъ процессовъ, приводящихъ мышцу изъ покойнаго состоянія въ состояніе дѣятельное. Мы довольно мало знаемъ о деталяхъ этого процесса, однако несомнѣннымъ является ²⁾ участіе въ процессѣ возбужденія іоновъ такъ, что мы должны признать первичнымъ актомъ мѣстнаго процесса въ мышцѣ переносъ съ волной возбужденія іоновъ, которые и обуславливаютъ дальнѣйшее теченіе процесса возбужденія и связаннаго съ нимъ разложенія веществъ въ мышцѣ.

Химическій процессъ мы представляемъ себѣ въ видѣ сложной цѣпи разложеній веществъ A , B , C и т. д., такъ что первоначально выдѣлившіяся іоны, дѣйствуя на вещества A , образуютъ B ; B далѣе распадаясь даетъ C и такимъ путемъ получаютъ окончательно вещества, измѣняющія поверхностное натяженіе въ элементахъ мышцы и дающія ея сокращеніе. Относительно перехода A въ B и B въ C мы сдѣлаемъ простѣйшее допущеніе, что всѣ эти реакціи мономолекулярны и что первая реакція перехода A въ B катализируется іонами доставляемыми раздражителемъ.

Пусть концентрація раздражающихъ іоновъ есть C_0 , концентрація вещества A есть P , тогда

$$\frac{dP}{dt} = -\varphi(C_0)P,$$

гдѣ $\varphi(C_0)$ нѣкоторая близке неопредѣлимая функція отъ C_0 , уничто-

¹⁾ См. статья M. v. Frey. Allgemeine Physiologie der quergestreiften Muskeln въ Nagel's Handbuch der Physiologie 4. 2 Hälfte p. 435. Braunschweig. 1909.

²⁾ См. П. Лазаревъ. Исслѣдованія по іонной теоріи возбужденія. Москва. 1916.

жающаяся вмѣстѣ съ C_0 , такъ что при маломъ C_0 можно считать $\varphi(C_0) = \lambda_1 C_0$, гдѣ λ_1 постоянная. Такимъ образомъ

$$\frac{dP}{dt} = -\lambda_1 C_0 P.$$

Вещество A , имѣющее концентрацію P само по себѣ не вызываетъ измѣненій въ поверхностномъ натяженіи элементовъ мышцы и представляется лишь первымъ изъ продуктовъ сложной цѣпи превращеній. Если допустить, что вещество A распадаясь переходитъ въ B и B въ C , то мы можемъ для каждаго момента времени написать уравненіе реакцій такъ:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP}{dt} &= -\lambda_1 C_0 P \\ \frac{dQ}{dt} &= \lambda_1 C_0 P - \lambda_2 Q \\ \frac{dR}{dt} &= \lambda_2 Q - \lambda_3 R \end{aligned} \right\} \quad (I)$$

Система уравненій (I) тождественна по формѣ съ системою уравненій, найденныхъ Рутерфордомъ для радиоактивныхъ превращеній, и интегрированія системы (I) даетъ слѣдующія значенія для P , Q и R ¹⁾.

$$\left. \begin{aligned} P &= P_0 e^{-\lambda_1 C_0 t}, \\ Q &= \frac{P_0 \lambda_1 C_0}{\lambda_2 - \lambda_1 C_0} \left[\frac{-\lambda_1 C_0 t}{e} - \frac{\lambda_2 t}{-e} \right], \\ R &= P_0 \left[\frac{\lambda_1 C_0 \lambda_2}{(\lambda_2 - \lambda_1 C_0)(\lambda_3 - \lambda_1 C_0)} e^{-\lambda_1 C_0 t} + \frac{\lambda_1 C_0 \lambda_2}{(\lambda_1 C_0 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)} e^{-\lambda_2 t} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{\lambda_1 C_0 \lambda_3}{(\lambda_1 C_0 - \lambda_2)(\lambda_2 - \lambda_3)} e^{-\lambda_3 t} \right], \end{aligned} \right\} \quad (II)$$

гдѣ P_0 есть постоянная.

Случай перехода веществъ, представленный уравненіями (II) легко обобщить на цѣпь переходовъ веществъ A_1 въ A_2 ; A_2 въ A_3 и т. д. до A_n , какъ это сдѣлалъ Батеманъ²⁾.

Въ дальнѣйшемъ мы будемъ допускать, что вещество B , съ концентраціей Q или вещество C съ концентраціей R вызываютъ измѣ-

¹⁾ См. E. Rutherford. Radioactive Substances and their Emanations [Handbuch der Radiologie 2]. p. 371. Leipzig. 1913.

²⁾ Bateman. Proc. Cam. Phil. Soc. 15, p. 423. 1910.