

УДК 612.014.2

ГИСТОЛОГИЯ

И. К. СВАНИДЗЕ, член-корреспондент АН СССР А. И. РОЙТБАК,
Е. В. ДИДИМОВА

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ КАЛИЯ НА ДВИГАТЕЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ ГЛИАЛЬНЫХ КЛЕТОК КОРЫ МОЗГА В УСЛОВИЯХ ТКАНЕВОЙ КУЛЬТУРЫ

В опытах с регистрацией мембранного потенциала глиальных клеток было установлено, что при увеличении концентрации ионов калия в наружной среде ($[K^+]_n$) происходит их деполяризация в соответствии с уравнением Нернста или с некоторыми отклонениями (⁵, ⁸⁻¹⁰). В условиях культуры ткани мембранный потенциал глиальных клеток коры больших полушарий новорожденных крыс не превышал 26 мв, при увеличении $[K^+]_n$ он снижался; кривая зависимости мембранного потенциала от $[K^+]_n$ имела меньший наклон при концентрациях ниже 21 ммол/л, при 123 ммол/л происходила полная деполяризация (²). Настоящее исследование посвящено изучению морфологических изменений глиальных клеток в культуре ткани при повышении $[K^+]_n$, т. е. при их деполяризации.

Эксплантаты зрительной коры новорожденных белых крыс культивировались в висячей капле по Максиму в течение 2 час., 24 час. и 3 дней. Питательная среда состояла из синтетической среды 199 и лошадиной сыворотки (30%). Исследование клеток проводилось в сконструированной камере, помещенной в термостат при 37° инвертированного микроскопа МБИ-13. Раствор KCl той или другой концентрации вводился в камеру в объеме 0,05 мл в 1 мл питательной среды. До и после повышения $[K^+]_n$ велось прижизненное наблюдение с помощью фазово-контрастной оптики и производилась съемка клеток. Длительность эксперимента не превышала 3—4 час. Далеко не все эксплантаты оказывались пригодными для опытов. Всего исследовано 52 клетки, из них 41 макрофаг и 11 олигодендроглиальных клеток; 2 опыта выполнено на клетках эпендимной глии, взятой из бокового мозгового желудочка.

Макрофаги характеризовались высокой двигательной активностью: клетки спонтанно образовывали отростки, в редких случаях даже перемещались по субстрату. Введение ионов K^+ оказывало влияние на отростки макрофага, характер двигательных реакций отростков оказался зависящим от концентрации. Усиление двигательной активности отростков вызывалось малым увеличением $[K^+]_n$ — порядка 5,6—14,2 ммол/л. На рис. 1А приведен пример активирующего действия K^+ . Увеличение $[K^+]_n$ до 5,6 ммол/л привело к резкому увеличению длины и ширины отростков, изменению их контуров и изменению формы тела клетки (рис. 1А, 1—3, см. вкл. к стр. 1449).

Усиление движений отростков можно было наблюдать через несколько десятков секунд после введения KCl; образование новых отростков происходило через 3 мин. и более; обратное развитие некоторых отростков происходило примерно через те же промежуток времени. Наблюдалось и увеличение объема клетки, и образование нежной лучистости. Часто помимо ясно видимых изменений происходили изменения на грани разрешающей способности светового микроскопа. Новообразованные отростки могли быстро исчезнуть, но и могли сохраняться долго. Наблюда-

лись «искательные» движения новообразованных отростков и ориентация их роста к находящимся в непосредственной близости элементам эксплантата. После возбуждения двигательной активности отростков в приведенном опыте с течением времени число их уменьшилось и они стали короче (рис. 1А, 4); повторное введение KCl не привело к активации, наоборот, наблюдалось обратное развитие отростков.

При увеличении $[K^+]_n$ более 28,5 ммол/л описанные выше виды двигательной активности подавлялись. Повышение $[K^+]_n$ до 114 ммол/л вызывало моментальное резкое и обычно необратимое изменение цитоплазмы клетки и ее сморщивание. Следует отметить, что некоторые макрофаги не давали двигательной реакции на K^+ , хотя они были живыми; до введения K^+ они демонстрировали очень слабую двигательную активность; при повышении $[K^+]_n$ до 114 ммол/л происходили указанные выше резкие изменения.

Для выяснения роли осмотического фактора в описанных явлениях в среду вместо KCl добавляли NaCl. Повышение $[Na^+]_n$ на 28,5 ммол/л не вызывало двигательной активности; с повышением $[Na^+]_n$ на 56 и 114 ммол/л спонтанные движения отростков подавлялись на короткое время. При подавлении в среду сахарозы (5—113 ммол/л) не обнаруживались какие-либо заметные изменения; введение после этого ионов K^+ , напротив, вызывало обычные изменения движения отростков. Таким образом, двигательную активность, вызывавшуюся ионами K^+ , не следует рассматривать как результат изменения осмотического давления.

В эксплантатах с эпендимной глией четко проявилось тормозящее действие ионов K^+ на двигательную активность реснитчатого аппарата. При наблюдении работающих ресничек они обычно представлены в виде сплошной зоны из-за высокого ритма мерцания (рис. 1Б, 1). В этих условиях трудно было обнаружить возможное стимулирующее действие K^+ . При повышении $[K^+]_n$ до 62 ммол/л происходила полная остановка ресничек (рис. 1Б, 2), но уже через 4 мин. в данном случае произошло восстановление их движений (рис. 1Б, 3). При повторном введении K^+ в большей концентрации вновь можно было наблюдать остановку движений (рис. 1Б, 4), но и в этом случае через некоторое время появились движения ресничек, хотя активность не достигла исходного уровня.

Результаты опытов с олигодендроцитами оказались подобными результатам, полученным с макрофагами. Так, например, увеличение $[K^+]_n$ до 14,2 ммол/л привело через 8 мин. к изменению формы клетки, а через 10 мин. к возникновению отростка, отходящего под прямым углом от основного отростка (рис. 1В, 2); новообразованный отросток в течение 1 мин. изменил свою форму (рис. 1В, 3). В дальнейшем, через 16 мин. после введения K^+ , отросток подвергся редукции (рис. 1В, 4). Наши опыты позволили обнаружить и другие реакции олигодендроцитов на введение K^+ в среду, например образование нескольких коротких отростков, образование и перемещение варикозностей по отростку, стимуляцию миграции, приводящую к сближению глиальных клеток и изменению ориентации отростков. Увеличение $[K^+]_n$ до 114 ммол/л приводило к сморщиванию олигодендроцита, но в отличие от макрофагов, через несколько минут уже наблюдалось восстановление исходной формы клетки. Итак, небольшое увеличение $[K^+]_n$ вызывало активацию двигательной активности олигодендроцитов; при введении K^+ в больших концентрациях не происходило образования отростков и сразу наступало угнетение их двигательной активности.

Как мы видели, действие K^+ не является специфичным для клеток глии. Наблюдавшиеся нами изменения олигодендроцитов под действием K^+ могут быть интерпретированы как проявление их функциональной активности. Полученные данные дают основание считать, что изменения концентрации ионов K^+ в наружной среде могут оказывать регулирующее влияние на двигательную активность глиальных клеток.

Установлено, что при увеличении $[K^+]_n$ усиливается дыхание именно глии (¹, ⁷) и происходит деполяризация мембраны глиальных клеток, которые много чувствительнее к изменениям $[K^+]_n$, чем нейроны (⁸). Движения глиальных клеток служат, возможно, для переноса веществ из глии в нейроны (⁶); известно, что движения и рост отростков олигодендроцитов являются неперенным компонентом миелинообразования. Считается, что деполяризация мембраны глиальной клетки является сигналом к трофической деятельности (⁸) и к миелинообразованию (³). Полученные нами данные об изменении двигательной активности олигодендроцитов в культуре ткани при изменениях в физиологических пределах $[K^+]_n$ согласуются с этими представлениями.

Институт физиологии
Академии наук ГрузССР
Тбилиси

Поступило
3 IV 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Г. Алексидзе, К. Бломстранд, ДАН, 186, № 6, 1429 (1969). ² Н. М. Жуковская, Л. М. Чайлахян, Цитология, 12, № 10, 1248 (1970). ³ А. И. Ройтбак, ДАН, 187, № 5, 1205 (1969). ⁴ Л. Н. Серавин, Двигательные системы простейших, Л., 1974. ⁵ M. J. Dennis, H. M. Gerschenfeld, J. Physiol. (London), 203, № 1, 211 (1969). ⁶ R. S. Geiger, Intern. Rev. Neurobiol., 5, 1 (1963). ⁷ L. Hertz, Nature, 206, № 4989, 1091 (1965). ⁸ S. W. Kuffler, J. G. Nicholls, Erg. Physiol., 57, 1 (1966). ⁹ L. G. Pape, R. Katzman, Brain Res., 38, № 1, 71 (1972). ¹⁰ W. M. Wardell, Proc. Roy. Soc. B, 165, № 1000, 326 (1966).