

Внутріклітинні електричні потенціали гладких м'язів тонкого кишечника

П. Г. Богач, Г. М. Чайченко

*Інститут фізіології і кафедра біофізики Київського держуніверситету
ім. Т. Г. Шевченка*

Малий розмір клітин гладких м'язів ($4-5 \text{ мк} \times 100 \text{ мк}$) шлунково-кишкового тракту і наявність їх автоматичної спонтанної рухової діяльності утруднюють використання мікроелектродної техніки для внутріклітинного відведення електричних потенціалів. Більшість досліджень внутріклітинних потенціалів клітин гладких м'язів шлунково-кишкового тракту була проведена на препаратах *taenia coli* морської свинки і кроликів при ізометричному режимі їх скоротливої діяльності, що забезпечувало більш тривале знаходження жорсткого скляного мікроелектрода в клітині [11—14, 18, 24].

Вивченню електричних потенціалів гладких м'язів тонкого кишечника за допомогою мікроелектродної техніки при внутріклітинному відведенні присвячено дуже мало праць [17, 21, 22, 29], причому в них не дається достатньої характеристики електричної активності клітин гладких м'язів тонких кишок. Мало приділено уваги вивченню повільних хвиль, які відіграють важливу інтегративну роль в забезпеченні одночасного скорочення клітин цілого сегмента кишки [4, 17]. Бюлбрінг і Куріяма [14], зокрема, вважають, що повільна хвиля і локальний або генераторний потенціал є одним і тим же. Між тим, частота повільних хвиль, що реєструються в тонких кишках, значно менша, ніж частота виникнення локального потенціалу з піком на його вершині в *taenia coli*, яку зареєстрували Бюлбрінг і Куріяма. В той же час частота скорочень *taenia coli* значно менша, ніж частота скорочень тонких кишок. Оскільки частота повільних хвиль має точно збігатися з частотою скорочень даного відрізка кишки, висновок Бюлбрінг і Куріяма не можна прийняти.

Вивчення ряду питань електричної активності клітин гладких м'язів шлунка і кишечника може бути забезпечено методикою сахарозного містка, яка останнім часом дедалі ширше використовується для досліджень [1, 2, 8, 15, 16, 25]. Але ця методика не забезпечує реєстрації справжніх величин електричних потенціалів клітин і має певні межі застосування.

Ми поставили перед собою завдання вивчити електричну активність клітин гладких м'язів тонкого кишечника за допомогою мікроелектродної техніки внутріклітинного відведення електричних потенціалів.

Методика досліджень

Досліди провадили на ізольованих сегментах тонкого кишечника кроликів і морських свинок. Препарат вміщували в спеціальну вологу камеру [23]. Електричні потенціали при внутріклітинному відведенні реєстрували за допомогою скляних мікро-

електродів з опором 20—50 *мом* і через катодний повторювач [5] подавали на вхід векторелектрокардіоскопа ВЕКС-01. Температуру в камері, заповненій розчином Кребса [27], підтримували на рівні 39—40°. Розчин аерували шляхом пропускання через фільтр Шотта дрібних пухирців повітря.

Результати досліджень та їх обговорення

Мембранні потенціали гладких м'язових клітин рідко є стабільними; термін «мембранний потенціал спокою» звичайно застосовується до максимальної величини поляризації мембрани, яка досягається під час пауз між розрядами пікових потенціалів. Величина мембранного потенціалу клітин гладких м'язів тонкого кишечника кролика і морської свинки в наших дослідках була меншою, ніж мембранні потенціали скелетних м'язів і гладких м'язів, яким не властива спонтанна активність.

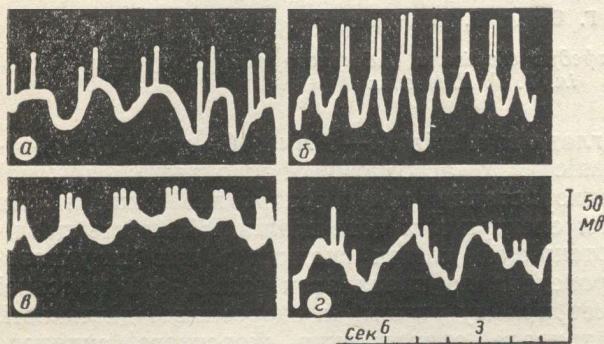


Рис. 1. Спонтанна електрична активність клітин гладких м'язів тонкого кишечника морської свинки в різних дослідках (а, б, в, г). В правому нижньому куті цього і наступних рисунків дана калібрівка напруги і часу.

морської свинки характеризуються мембранним потенціалом, що в середньому дорівнює 44,4 *мв* (коливання від 28 до 60 *мв*).

Крім того, спостерігаються і повільні синусоїдальні коливання мембранного потенціалу спонтанно активних гладких м'язів тонкого кишечника, так звані повільні хвилі. Такі хвилі реєструються і при зовнішньоклітинному відведенні [4, 9, 10, 17, 26].

Повільні хвилі в кишечнику морської свинки майже завжди супроводжувались потенціалами дії, які виникали на вершині (плато) повільних хвиль при досягненні ними критичної величини деполяризації мембрани (рис. 1). Величина і тривалість повільних хвиль в гладких м'язових клітинах тонкого кишечника варіювала в широких межах, причому необхідно відзначити, що тривалість повільних хвиль пов'язана з типом скорочень тонкого кишечника [3, 4].

При ритмічних (в основному маятниковоподібних) скороченнях кишечника морської свинки частота повільних хвиль у переважній більшості дослідів дорівнювала 28—34 за 1 *хв*, тобто була такою, як при зовнішньоклітинній реєстрації [4]. Висота амплітуди повільних хвиль становила від 5 до 20 *мв* і в середньому дорівнювала 14,5 *мв*. Довжина повільних хвиль була від 1,1 до 5 *сек*, але частіше вона дорівнювала 2—3 *сек* (рис. 1). Кількість пікових потенціалів на одній повільній хвилі звичайно була 2—3; амплітуда потенціалів дії становила від 5 до 38 *мв* і в середньому дорівнювала 12,7 *мв* (рис. 1). Але часто реєструвались повільні хвилі з більшою кількістю пікових потенціалів (4—8); частота виникнення таких хвиль дорівнювала 12—22 за 1 *хв* (рис. 2). Тривалість одного потенціалу дії становила 40—100 *мсек*.

При невеликому
них хвиль збільш
Електрична
являлась також
амплітуди повіл

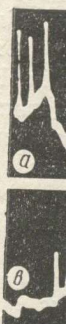


Рис.
потен



Рис
глад
а, б
вільн

дорівнювала 9,6 *мв*
потенціалу станови
реєструвались пові
г), тобто спостеріг
відведенні. Ампліту
ника кроликів ста
14,1 *мв*. Ці потен
тенціалу.

Одержані нами
м'язових клітин тон
данім Гонелла [2]
електричну активні
ка. Проте в роботі
амплітуди повільні

При невеликому розтягуванні препарата частота виникнення повільних хвиль збільшується (рис. 1, б).

Електрична активність м'язів дванадцятипалої кишки кролика виявлялась також у вигляді повільних хвиль і потенціалів дії. Висота амплітуди повільних хвиль становила від 5 до 15 мв і в середньому

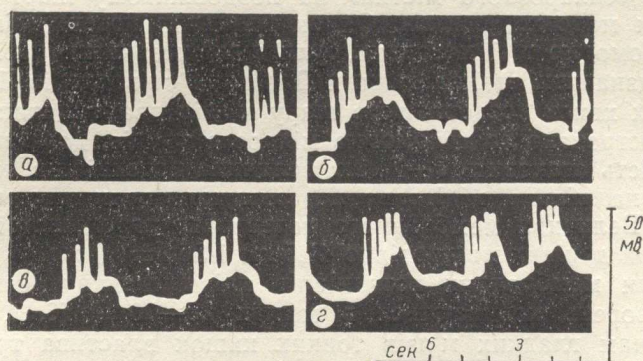


Рис. 2. Повільні хвилі клітин з багатьма піковими потенціалами на плато в різних клітинах одного досліду (а, б, в, г).

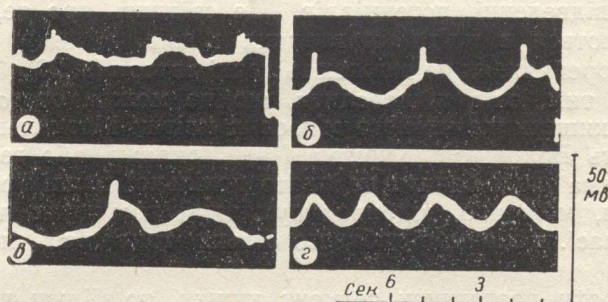


Рис. 3. Спонтанна електрична активність клітин гладких м'язів дванадцятипалої кишки кролика; а, б — повільні хвилі з піковими потенціалами; в — повільні хвилі при малій піковій активності; г — повільні хвилі без пікових потенціалів.

дорівнювала 9,6 мв (рис. 3, а, б). Тривалість повільного коливання потенціалу становила 2—3 сек. Іноді при внутріклітинному відведенні реєструвались повільні хвилі без потенціалів дії на їх плато (рис. 3, в, г), тобто спостерігалось таке явище, як і при зовнішньоклітинному відведенні. Амплітуда потенціалів дії в клітинах гладких м'язів кишечника кроликів становила від 4 до 20 мв і в середньому дорівнювала 14,1 мв. Ці потенціали не перевищували величину мембранного потенціалу.

Одержані нами дані про характер електричної активності гладком'язових клітин тонкого кишечника кроликів в основному відповідають даним Гонелла [21, 22], який за допомогою мікроелектродів вивчав електричну активність гладких м'язів дванадцятипалої кишки кролика. Проте в роботі Гонелла дається лише характеристика величини амплітуди повільних хвиль і пікових потенціалів і не приводяться ре-

зультати про тривалість і частоту повільних хвиль, а також пікових потенціалів.

Що ж до внутріклітинної електричної активності гладких м'язів тонкого кишечника морської свинки, то з цього питання в літературі даних нема. Відома лише робота Гурвіца [25], виконана за допомогою методу «сахарозного містка» на поздовжньому шарі м'язів клубової кишки морської свинки. Однак величини потенціалів дії, одержані за допомогою цієї методики, були дуже низькими (порядку 1 мв).

Слід відзначити, що, за даними Данієля і співавторів [17], амплітуда повільних хвиль поздовжнього шару м'язів дванадцятипалої кишки собак, зареєстрована за допомогою мікроелектродів, дорівнює 7—8 мв, а їх тривалість становить 5—7 сек; величина потенціалів дії 5—30 мв. Іноді вони на кілька мілівольт перевищують величину мембранного потенціалу. Величина мембранного потенціалу порожнистої і клубової кишок собаки дорівнює відповідно 41,5 мв і $36,4 \pm 1,9$ мв.

Величини мембранних потенціалів клітин деяких інших гладком'язових утворень коливаються в межах 20—70 мв [6, 7, 19, 20, 28]. Отже клітинам гладких м'язів тонких кишок властива трохи менша величина мембранного потенціалу, ніж для клітин гладких м'язів, що спонтанно не скорочуються. Важливою особливістю пікових потенціалів клітин гладких м'язів тонких кишок є те, що їх величина, як правило, не перевищує величини мембранного потенціалу.

Важливо те, що повільні хвилі при внутріклітинному відведенні потенціалів мають таку ж частоту і конфігурацію, як при зовнішньоклітинному відведенні потенціалів. Це свідчить про те, що повільні хвилі генеруються в клітинах гладких м'язів, а не в нервовій сітці чи інших утвореннях, як це вважають деякі автори [9, 26].

Разом з тим, слід підкреслити, що не можна ототожнювати повільні хвилі кишечника чи його м'язових клітин і локальні потенціали, як це роблять Болбрінг і Куріяма [14]. Локальні або генераторні потенціали можна іноді бачити на плато повільної хвилі (рис. 2, а). Повільна хвиля, можливо, відбиває сумарний результат локальних потенціалів в часі. Вона має набагато більшу тривалість, ніж локальний потенціал.

Якщо трохи розтягнути сегмент кишки, то більш чітко реєструються препотенціали (локальні потенціали) з одним або двома (рис. 1, б) піками на їх вершині. При наявності двох пікових потенціалів на вершині локального потенціалу, останній має вигляд дуже короткої повільної хвилі. Тоді частота таких хвиль значно більша, ніж звичайна частота повільних хвиль у тонких кишках, що точно відповідає частоті скорочень кишечника. Якщо на плато повільної хвилі пікових потенціалів не виникає, тоді не відбувається і скорочення кишки. Отже, скорочення відбувається при виникненні повільної хвилі з піковими потенціалами на її плато. Поява повільної хвилі без пікових потенціалів лише підвищує збудливість клітин м'язів кишки [4, 17].

Висновки

1. Величина мембранного потенціалу клітин гладких м'язів тонкого кишечника кролика дорівнює в середньому 46,1 мв, морської свинки — 44,4 мв.

2. В гладких м'язах дванадцятипалої кишки кролика повільні коливання мембранного потенціалу (повільні хвилі) мають величину 5—15 мв, частоту — 18—22 за 1 хв, тривалість — 2—3 сек; в тонко-

му кишечнику м
1,1—5 сек.

3. Амплітуда
шечника кролика
від 5 до 38 мв.

4. Повільні
шок і, мабуть, ро

1. Артемен
2. Воронцо
- Киев, 1966.
3. Богач П.
- щев., Львов, 1965, 15.
4. Богач П.
- кишечного тракта (до
5. Магура І
6. Орлов Р.
7. Орлов Р.
8. Шуба М.
- роль, Киев, 1965, 90.
9. Ambache
10. Bozler E.
11. Bülbring
12. Bülbring
13. Bülbring
14. Bülbring
15. Burnstoc
16. Burnstoc
17. Daniel E.
- 198, 113.
18. Daniel E.
19. Funaki S.
20. Gillespie
21. Gonella J
22. Gonella J
- 260, 5362.
23. Greven K.
24. Holman M
25. Hurwitz L
26. Milton G.
27. Schatzma
28. Speden R.
29. Sperelaki

Внутри
гл

Институт физи

Внутриклеточные
кролика и морской сви
омных стеклянных ми
потенциала в клетках
(с колебаниями от 30
(с колебаниями от 28 д
тенциала (медленные в

му кишечнику морської свинки відповідно 5—20 мв, 12—50 за 1 хв, 1,1—5 сек.

3. Амплітуда потенціалів дії клітин гладких м'язів тонкого кишечника кролика коливається від 4 до 20 мв і у морської свинки — від 5 до 38 мв.

4. Повільні хвилі виникають в клітинах гладких м'язів тонких кишок і, мабуть, розповсюджуються по м'язових клітинах.

Література

1. Артеменко Д. П., Шуба М. Ф.— Фізіол. ж. АН УРСР, 1964, 10, 3, 403.
2. Воронцов Д. С., Шуба М. Ф.— Физический электротон нервов и мышц, Киев, 1966.
3. Богач П. Г., Чайченко Г. М.— Научн. конф. по физиол. и патол. пищев., Львов, 1965, 15.
4. Богач П. Г., Чайченко Г. М.— В кн.: Моторная функция желудочно-кишечного тракта (докл. на симпозиуме), Киев, 1965, 12.
5. Магура І. С.— Фізіол. ж. АН УРСР, 1961, 7, 4, 566.
6. Орлов Р. С.— Фізіол. ж. СССР, 1963, 49, 2, 115.
7. Орлов Р. С.— Фізіол. ж. СССР, 1964, 50, 11, 1373.
8. Шуба М. Ф.— в сб.: Протоплазматические мембраны и их функциональная роль, Киев, 1965, 90.
9. Ambache N.— J. Physiol. (London), 1947, 106, 2, 139.
10. Bozler E.— Amer. J. Physiol., 1939, 127, 2, 301.
11. Bülbring E.— J. Physiol. (London), 1954, 123, 55P.
12. Bülbring E.— J. Physiol. (London), 1954, 125, 302.
13. Bülbring E.— Physiol. Revs., 1962, 42, 3, part 2, 160.
14. Bülbring E., Kuriyama H.— J. Physiol. (London), 1963, 166, 1, 29.
15. Burnstock G., Prosser C. L.— Amer. J. Physiol., 1960, 199, 553.
16. Burnstock G., Straub R. W.— J. Physiol. (London), 1958, 140, 156.
17. Daniel E. E., Honour A. J., Bogoch A.— Amer. J. Physiol., 1960, 198, 113.
18. Daniel E. E., Singh H.— Canad. J. Biochem., Physiol., 1958, 36, 9, 959.
19. Funaki S., Bohr D. F.— Nature (Engl.), 1964, 203, 4941, 192.
20. Gillespie J. S.— J. Physiol. (London), 1961, 154, 59P.
21. Gonella J.— Compt. rend. des sciences de la Soc. de Biol., 1964, 158, 12, 2409.
22. Gonella J.— Compt. rend. des sciences de l'Academie des Sciences, 1965, 260, 5362.
23. Greven K.— Leit. Biol., 1953, 106, 1, 1.
24. Holman M. E.— J. Physiol. (London), 1958, 141, 464.
25. Hurwitz L.— Nature (Engl.), 1965, 207, 5004, 1398.
26. Milton G. W., Smith A. W. M.— J. Physiol. (London), 1956, 132, 100.
27. Schatzmann H. J.— Pflüg. Arch. ges. Physiol., 1961, 274, 3, 295.
28. Speden R. N.— Nature (Engl.), 1964, 202, 4928, 193.
29. Sperelakis N., Prosser C. L.— Amer. J. Physiol., 1959, 196, 4, 850.

Внутриклеточные электрические потенциалы гладких мышц тонкого кишечника

П. Г. Богач, Г. М. Чайченко

Институт физиологии и кафедра биофизики Киевского госуниверситета
им. Т. Г. Шевченко

Резюме

Внутриклеточные электрические потенциалы гладких мышц тонкого кишечника кролика и морской свинки регистрировали *in vitro* при помощи относительно высокоомных стеклянных микроэлектродов (20—50 Мом). Средняя величина мембранного потенциала в клетках гладких мышц тонкого кишечника кролика была равна 46,1 мв (с колебаниями от 30 до 60 мв), а в тонком кишечнике морской свинки — 44,4 мв (с колебаниями от 28 до 60 мв). Медленные периодические колебания мембранного потенциала (медленные волны) в клетках гладких мышц кишечника кролика имели ам-

плитуду от 5 до 15 мВ, продолжительность их была равна 2—3 сек и возникали они с частотой 18—22 в 1 мин; те же характеристики медленных волн в кишечнике морской свинки составляли соответственно 5—20 мВ, 1,1—5 сек и 12—50 в 1 мин. Амплитуда спонтанных пиковых потенциалов колебалась в пределах от 4 до 20 мВ у кролика и от 5 до 38 мВ — у морской свинки. Медленные волны в тонком кишечнике возникают в самих мышечных клетках и имеют такую же частоту, как в мышечном слое при внеклеточной регистрации. Мышечные сокращения возникают тогда, когда медленные волны достигают определенной величины и на их плато возникают пиковые потенциалы. Медленная волна в тонкой кишке и препотенциал (локальный или генераторный потенциал) выражают не одно и то же явление.

Intracellular Electrical Potentials of the Smooth Muscle of the Small Intestine

P. G. Bogach and G. M. Chaichenko

*Institute of Physiology and Department of Biophysics of the
T. G. Shevchenko State University of Kiev*

Summary

Transmembrane electrical potentials from the isolated small intestine of the guinea-pig and the rabbit were recorded during spontaneous activity with relatively high-resistance capillary microelectrodes (20—50 MΩ). The mean membrane potential from the rabbit's intestinal smooth muscle cells was 46.1 mV, from the guinea-pig's small intestine — 44.4 mV. Slow waves from rabbit's smooth muscle cells had an amplitude 5—15 mV, a duration of 2—3 sec and occurred at a rate of 18—22/min in the duodenum; slow waves from the intestinal smooth muscle cells of the guinea-pig had 5—20 mV, 1.1—5 sec and 12—50/min, respectively. The spontaneous spike potentials had an amplitude of 4 to 20 mV in the rabbit and of 5 to 38 mV in the guinea-pig. In the small intestine, periodic oscillations of the membrane potential (slow waves) are an inherent property of muscle cells and have the same frequency as in the muscle layer by extracellular recording. Slow waves initiate in the smooth muscle cells of the small intestine and apparently spread along muscle cells. Slow waves in the small intestine and prepotentials are however due to different phenomena.

Висок
адреналіну
більшу ув
ефект суди
вій активн
реженнях
і зниженні
Як від
гладких м
тісно пов'я
ся, що адр
ких м'язів,
ну [10, 17].
зових кліт
на мембра
ня природи
мають іонн
ком іонних
праці, авто
наліну [10,
брани, а сам
іонів [10, 11]
Висока
переконливи
домо, що ро
локон викон
ном [1, 3]. Я
радреналіну
тим, що він
відомо про
м'язів. В зв'
ти вплив адр
ких м'язів ки

Об'єктом д
шок — taenia col
вання в розчині
тенціалів. В кам