

Влияние длины зонда атомно-силового микроскопа на кажущийся модуль Юнга сенсорных нейронов

Научный руководитель – Анкудинов Александр Витальевич

Тимощук Кирилл Игоревич

Сотрудник

Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: kirill_timoshhuk@rambler.ru

Рассматривается роль характеристик АСМ кантилевера в расхождении значений модуля Юнга сенсорных нейронов, культивируемых на поли-L-лизиновой и коллаген-фибронектиновой подложках, ранее связываемый с зависимостью механических свойств клеток от химического состава подложки [1,2,5]. Работа проводилась на АСМ BioScope Catalyst в физиологически адекватных условиях. Применялись зонды SNL-(D), DNP-(C) и NITRATALL-V-G-(A). Сканирование велось в режиме PeakForce QNM с частотой строчной развертки - 0.10-0.15 Hz, пиковой силой - 1 pN, частотой и амплитудой вертикального зондирования - 0.25 kHz и 1 μ m. Силовые кривые анализировались автоматически, используя соотношение Снеддона [4]. При анализе АСМ-изображений из областей, соответствующих соматическим клеткам, извлекали данные для преобразования в частотное распределение модуля Юнга с шагом 5 kPa. При сравнении разных зондов было выявлено несовпадение средних значений модуля Юнга (статистическая разница по U-критерию Манна-Уитни $p < 0.01$). Нет явной корреляции модуля Юнга с материалом зонда или жесткостью консоли. Повышение модуля Юнга у острых зондов незначительно, так как глубина индентирования больше радиуса кривизны. Важна зависимость величины модуля Юнга от отношения высоты зонда к длине консоли. Существует два варианта реакции кантилевера на поднятие образца. Защемленное состояние зонда приводит к меньшим углам отклонения конца консоли, чем его скольжение. Тогда угол отклонения консоли при защемлении зонда будет достигаться при больших перемещении и деформации образца, чем при скольжении, и образец будет казаться мягче. Сила в плоскости вызывает отклонение конца консоли [3]. Когда зонд не скользит по поверхности образца, угол изгиба падает с ростом отношения высоты зонда к длине консоли, падает контактная жесткость и кажущийся модуль Юнга образца. Таким образом, измеряемый модуль Юнга зависит от отношения высоты зонда к длине консоли. У сенсорных нейронов модуль Юнга падает с ростом отношения высоты зонда к длине консоли, что указывает на залипание зонда. Если зонд скользит по клетке, вклад отношения высоты зонда к длине консоли мал, и модуль Юнга может служить количественным параметром. Важно, что наличие (отсутствие) выявленной зависимости позволяет сортировать клетки как липкие (скользкие) по отношению к материалу зонда. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ N 18-015-00079.

Источники и литература

- 1) Анкудинов А.В., Халисов М.М., Пенниайнен В.А., Подзорова С.А., Крылов Б.В. // ЖТФ. 2015. Т. 85. В. 10. С. 126–130
- 2) Халисов М.М., Пенниайнен В.А., Есикова Н.А., Анкудинов А.В., Крылов Б.В. // ПЖТФ. 2017. Т. 43. В. 1. С. 89–94
- 3) Sarid D. Exploring Scanning Probe Microscopy with MATHEMATICA. Weinheim. Wiley-VCH. 2007. Second ed. Ch.2 Uniform Cantilevers, P.46
- 4) Sneddon I. // Int. J. Engng. Sci. 1965. V. 3. N. 1. P. 47–57

- 5) Takai E., Costa K.D., Shaheen A., Hung C.T., Guo X.E. // Ann. Biomed. Eng. 2005. V. 33. N. 7. P. 963–971