

Процессы фотопроводимости в полупроводниковых сенсорах позволяют дополнительно регулировать изменение выходных характеристик, что следует учитывать при выборе режимов обработки данных, поступающих от газовых датчиков. Применение золь-гелей на основе оксидов индия и олова с добавлением углеродных нанотрубок показывают высокий сенсорный отклик при измерении низких концентраций оксида азота для низко-энергопотребляющих сенсоров в целом.

Литература

1. Ilin A. UV effect on NO₂ sensing properties of nanocrystalline In₂O₃ / A. Ilin [et al.] // *Sensors and Actuators*, В: Chemical. – 2016. – V. 231. – P. 491–496.
2. Реутская О.Г. Полупроводниковые газовые сенсоры с низким энергопотреблением для контроля H₂ и CO на подложке из наноструктурированного γ -Al₂O₃ / О.Г. Реутская // *Наноструктуры в конденсированных средах: сб. науч. ст. – 2013. / Ин-т тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси; ред. кол.: П.А. Витязь [и др.]. – Минск, 2013. – С. 293–298.*

УДК 57.089.23

ПЕРСПЕКТИВЫ НЕИНВАЗИВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ГЛЮКОЗЫ

Рысик А.Н.¹, Плескачевский Ю.М.¹

¹Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Диабет – это хроническое метаболическое заболевание, которое возникает, когда инсулин не вырабатывается должным образом (тип 1) или не используется (тип 2) для контроля уровня сахара в крови в организме. По данным Всемирной организации здравоохранения, от него страдает сотни миллионов человек на Земле. Независимо от типа, регулярный мониторинг уровня глюкозы помогает предотвратить осложнения, связанные с диабетической гипергликемией и гипогликемией [1, 2], в том числе слепоту, почечную недостаточность, сердечные заболевания, врожденные дефекты и даже смерть [3].

В настоящее время наиболее часто используемый метод определения уровня глюкозы требует укола пальца для извлечения капли крови для анализа – раздражающий процесс, который также может привести к инфекции. Поэтому значительные усилия прилагаются к поиску неинвазивных методов измерения глюкозы с использованием жидкостей организма, таких как слюна, пот, интерстициальная жидкость, слезы и моча, в дополнение к крови [4, 5]. Эти методы могут быть оптическими, спектроскопическими, ультразвуковыми, тепловыми, электрическими или электрохимическими [6].

Недавно были предприняты новаторские попытки изготовления конечных устройств с использованием гибридной печатной электроники на гибких подложках. Их преимущества – низкая стоимость площади поверхности, гибкость, сокращение производственных затрат и отличная совместимость с кожей и клетками человека [7–9]. Однако неинвазивные методы обнаружения, которые можно интегрировать с печатной электроникой, остаются проблемой.

Неинвазивный глюкометр. Неинвазивные методы, которые могут быть использованы для определения глюкозы, можно разделить на две категории. В первую входят методы, которые

измеряют эффекты глюкозы на физические свойства крови и ткани. Эта категория основана на предположении, что глюкоза – доминантный, постоянно изменяющийся признак и, как таковой, способствует значительному изменению в соответствующих физических параметрах ткани. Следовательно, измерение таких параметров позволяет косвенно оценить уровень глюкозы крови. Эта группа методов регистрирует изменения свойств тканей в зависимости от концентрации глюкозы и включает в себя методы определения светорассеяния (light scattering) и эмиссии, оптическую когерентную томографию, методы флуоресцентного анализа, регистрацию температурных и электрических изменений тканей.

Вторая категория включает методы, основанные на определении функциональных групп молекулы глюкозы. К ним относятся спектроскопия ближнего (near-infrared) и среднего (mid-infrared) инфракрасного диапазона длин волн, рамановская спектроскопия, инфракрасный фотоакустический анализ, метод оптической ротации и прочие. Эти методы способны обнаружить глюкозу в ткани или крови независимо от других компонентов или психологического состояния.

В последнее время разработано несколько типов НГ, но их общая проблема состоит в том, что они не могут обеспечить достаточную точность измерения в различных условиях [10].

В настоящее время разрабатываются контактные линзы, которые с помощью специального сенсора измеряют уровень глюкозы не в крови, а в слезах. Причем, они могут делать это постоянно (мониторить уровень глюкозы), разработчики также собираются встроить в линзу светодиодный сенсор, который будет предупреждать человека при достижении опасного уровня глюкозы. Линзы смогут передавать данные на смартфон, чтобы врач мог ознакомиться с динамикой выздоровления пациента.

В разработке сенсора использованы последние научные технологии. Прибор состоит из графеновых нанолитов, к краям которых прикреплены платиновые наночастицы, выполняющие функцию электродов. Также в аппарате находятся молекулы фермента глюкозооксидазы.

Чувствительность устройства позволяет определить глюкозу в анализируемых жидкостях в концентрации 0,3 микроль. Кроме того, разработчики утверждают, что их сенсор стоит дешевле других подобных устройств, созданных с применением нанотехнологий. По словам учёных, сенсор можно также использовать для определения уровня алкоголя в крови или для мониторинга состояния пациентов с болезнью Паркинсона или Альцгеймера – достаточно изменить глюкозооксидазу на другой фермент.

В обширном арсенале современных методов лабораторной и функциональной диагностики, основанных на оценке морфологических, функциональных, биохимических и генетических параметров организма, неинвазивные методы занимают пока еще довольно скромное место.

Между тем, в медицине будущего роль неинвазивной диагностики будет неуклонно возрастать. Определяется это следующими основными моментами. Неинвазивные методы:

- 1) исключают внесение во внутреннюю среду организма болезнетворных вирусов и бактерий, чужеродных веществ (ксенобиотиков);
- 2) позволяют исключить лучевую нагрузку на организм, например, при проведении рентгенологических, радиоизотопных и ультразвуковых методов исследования;
- 3) освобождают пациента от комплекса болевых и неприятных ощущений;
- 4) неинвазивные методы, основанные на использовании сенсорных и передающих сигналы устройствах, позволяют решить две крупные медико-социальные задачи: мониторинг основных биохимических и функциональных показателей и создание дистанционных систем. Последние могут оказаться весьма полезными в качестве средства постоянного слежения из центра, например из больницы или поликлиники, за определенными группами больных (больными с опасностью внезапной кардиальной смерти, гипертонической болезнью, сахарным диабетом и др.) и оказания своевременной помощи при наступивших критических состояниях [11].

Выводы. Таким образом, множество методов из самых различных разделов биофизики было предложено в качестве потенциальных неинвазивных сенсоров уровня глюкозы. Несмотря на то, что многие из этих технологий показали достоверную корреляцию в исследованиях *in vitro* и на животных моделях, ни одна из описанных технологий пока не позволяет эффективно количественно определять концентрацию глюкозы *in vivo* в реальной клинической практике. Эти

методы устранили проблему инвазивности и в перспективе могут стать менее дорогостоящими, чем инвазивные методы, но точность этих методов пока остается значительно ниже, чем инвазивная глюкометрия. Общей проблемой этих методов является низкое соотношение сигнал-шум при регистрации исследуемых параметров, большое влияние температуры, перфузии крови и других факторов, связанных с деятельностью живого организма. Решение этой проблемы требует дальнейших, фундаментальных исследований, посвященных физическим и физиологическим факторам, влияющим на регистрацию концентрации глюкозы. Будущее решение, вероятно, будет связано с внедрением сложных математических методик, способных учесть все факторы, влияющие на результат и разработкой новых материалов и технологий их получения.

Литература

1. The Diabetes Control and Complication Trial (DCCT) Research Group. The effect of intensive treatment of diabetes on the development and progression of long-term complications of insulin-dependent diabetes mellitus. *New Engl J Med* 1993; 329: 977–1036.
2. The UK Prospective Diabetes Study (UKPDS) Group. Intensive bloodglucose control with sulphonylureas or insulin compared with conventional treatment and risk of complications in patients with type 2 diabetes. *Lancet* 1998; 352: 837–853.
3. Wojcicki JM, Ladyzynski P. Toward the improvement of diabetes treatment: recent developments in technical support. *J Artif Organs* 2003;6:73–87
4. K. Rebrin and G. Steil, "Can Interstitial Glucose Assessment Replace Blood Glucose Measurements?", *Diabetes Technology & Therapeutics*, vol. 2, no. 3, pp. 461–472, 2000.
5. R. Tanenberg, B. Bode, W. Lane, C. Levetan, J. Mestman, A. Harmel, J. Tobian, T. Gross and J. Mastrotaro, «Use of the Continuous Glucose Monitoring System to Guide Therapy in Patients With Insulin-Treated Diabetes: A Randomized Controlled Trial», *Mayo Clinic Proceedings*, vol. 79, no. 12, pp. 1521–1526, 2004.
6. J. Wang, «Electrochemical Glucose Biosensors», *Chemical Reviews*, vol. 108, no. 2, pp. 814–825, 2008.
7. A. Nathan, et al. Flexible electronics: the next ubiquitous platform, *Proc. IEEE* 100 (2012). DOI: 10.1109/JPROC.2012.2190168.
8. R.R. Sondergaard, M. Hosel, F.C. Krebs, Roll-to-Roll fabrication of large area functional organic materials, *J. Polym. Sci. Pa.*
9. Rahim Rahimi, Manuel Ochoa, Tejasvi Parupudi, Xin Zhao, Iman K. Yazdi, Mehmet R. Dokmeci, Ali Tamayol, Ali Khademhosseini, Babak Ziaie, A low-cost flexible pH sensor array for wound assessment, *Sensors and Actuators B: Chemical*, Volume 229, 2016, pp. 609–617.
10. Бабенко А.Ю. Кононова Ю.А., Циберкин А.И. Динамика развития методов контроля гликемии от инвазивных к неинвазивным. Актуальные перспективы // Сахарный диабет. – 2016. – Т. 19, № 5. – С. 397–405.
11. Мезенцева М.А. Неинвазивные методы измерения сахара в крови / М.А. Мезенцева, Т.А. Букрина // Информационно-измерительная техника и технологии: материалы VI научно-практической конференции, Томск, 27–30 мая 2015 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2015. – С. 77–82.