

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD627099>

# Применение нейронных сетей для неинвазивного определения уровня гликированного гемоглобина на примере инновационного портативного глюкометра в клинической практике

Е.Е. Поликер<sup>1</sup>, К.А. Кошечкин<sup>1</sup>, А.М. Тимохин<sup>1</sup>, Е.В. Ключкина<sup>1</sup>, А.М. Бровко<sup>2</sup>, Е.Д. Белякова<sup>3</sup>, А.С. Лалаян<sup>4</sup>, А.С. Ермолаева<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Москва, Россия;

<sup>2</sup> Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия;

<sup>3</sup> Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Россия;

<sup>4</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия;

<sup>5</sup> Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Москва, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** В последнее десятилетие интерес к неинвазивному мониторингу уровня гликемии значительно возрос [1]. Это обусловлено стремлением снизить дискомфорт пациентов, а также риск инфекций, связанных с традиционными инвазивными методами [2]. Рамановская спектроскопия, считающаяся перспективной для неинвазивных измерений [3], в сочетании с машинным обучением может привести к более точным и быстрым способам диагностики состояний, связанных с нарушениями гликемии [4].

**Цель** — создание и валидация нового портативного глюкометра на основе Рамановской спектроскопии с использованием методов машинного обучения для неинвазивного определения уровня гликированного гемоглобина (HbA<sub>1c</sub>).

**Материалы и методы.** Исследование проводилось на выборке из 100 добровольцев различной возрастной группы и пола, с различным статусом здоровья, включая людей с сахарным диабетом 1-го, 2-го типов и без него. Для сбора данных использовался разработанный нами портативный прибор, основанный на регистрации Рамановских спектров с лазерным возбуждением 638 нм. Данные анализировались с использованием нейронных сетей Support Vector Machine [5].

**Результаты.** После обработки спектроскопических измерений с использованием Support Vector Machine, система показала сравнимые с традиционными методами (такими, как высокоэффективная жидкостная хроматография) чувствительность (95,7%) и специфичность (84,2%) в определении уровня HbA<sub>1c</sub> [6]. Выявлено, что алгоритм достаточно адаптивный и может быть использован в широком диапазоне типов кожи, вне зависимости от возраста и пола участников. Результаты указывают на возможность использования разработанного прибора в клинической практике.

**Заключение.** Разработанный портативный глюкометр на основе Рамановской спектроскопии в комбинации с алгоритмами машинного обучения может стать обнадеживающим шагом к неинвазивному и непрерывному мониторингу уровня гликемии у пациентов с сахарным диабетом.

**Ключевые слова:** гликированный гемоглобин; искусственный интеллект; рамановская спектроскопия; биомедицинская диагностика; автоматическое распознавание образов; алгоритмы машинного обучения.

## Как цитировать:

Поликер Е.Е., Кошечкин К.А., Тимохин А.М., Ключкина Е.В., Бровко А.М., Белякова Е.Д., Лалаян А.С., Ермолаева А.С. Применение нейронных сетей для неинвазивного определения уровня гликированного гемоглобина на примере инновационного портативного глюкометра в клинической практике // Digital Diagnostics. Т. 5, № S1. С. 124–126. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD627099>

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Demircioglu N., Erdogan I., Ersoy Y.E., Abbasoglu A.A. Raman spectroscopy for the non-invasive detection of glycated haemoglobin: A systematic review // *Advances in Clinical Chemistry*. 2019. Vol. 88. P. 71–90.
- Chen L., Wang J., Yan X., Chen H., Ni X. Non-invasive measurement of hemoglobin A1c using Raman spectroscopy // *Analytical Methods*. 2019. Vol. 11, N 37. P. 4743–4750.

Received: 16.02.2024

Accepted: 27.03.2024

Published online: 30.06.2024



3. Ibtehad N., Chowdhury M.E.H., Khandakar A., et al. RamanNet: a generalized neural network architecture for Raman spectrum analysis // *Neural Comput & Applic.* 2023. Vol. 35. P. 18719–18735. doi: 10.1007/s00521-023-08700-z
4. Yin C., Wang X., Xu H., et al. Raman spectroscopy-based noninvasive glycated hemoglobin detection in blood samples: A machine learning approach // *Analytical Chemistry.* 2021. Vol. 93, N 7. P. 3273–3279.
5. González-Viveros N., Castro-Ramos J., Gómez-Gil P., Cerecedo-Núñez H.H. Characterization of glycated hemoglobin based on Raman spectroscopy and artificial neural networks // *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc.* 2021. Vol. 247. P. 119077. doi: 10.1016/j.saa.2020.119077
6. Trenerry M.I., et al. Validation of high-performance liquid chromatography assays for determination of glycated hemoglobin in diabetic studies // *Clinica Chimica Acta.* 1996. Vol. 246, N 1–2. P. 91–102.

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD627099>

## Using neural networks for non-invasive determination of glycated hemoglobin levels, illustrated by the application of an innovative portable glucometer in clinical practice

Ekaterina E. Poliker<sup>1</sup>, Konstantin A. Koshechkin<sup>1</sup>, Alexander M. Timokhin<sup>1</sup>, Ekaterina V. Klyukina<sup>1</sup>, Artem M. Brovko<sup>2</sup>, Ekaterina D. Belyakova<sup>3</sup>, Alina S. Lalayan<sup>4</sup>, Alexandra S. Ermolaeva<sup>5</sup>

<sup>1</sup> The First Sechenov Moscow State Medical University, Moscow, Russia;

<sup>2</sup> Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow, Russia;

<sup>3</sup> Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia;

<sup>4</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia;

<sup>5</sup> The First Sechenov Moscow State Medical University, Moscow, Russia

### ABSTRACT

**BACKGROUND:** In the last decade, there has been a significant increase in interest in non-invasive monitoring of blood glucose levels [1]. This is driven by the desire to reduce patient discomfort, as well as the risk of infections associated with traditional invasive methods [2]. Raman spectroscopy, considered as a promising approach for non-invasive measurements [3], combined with machine learning, has the potential to lead to more accurate and faster diagnostic methods for conditions related to glucose imbalances [4].

**AIMS:** Development and validation of a new portable glucometer based on Raman spectroscopy using machine learning methods for non-invasive determination of glycated hemoglobin (HbA<sub>1c</sub>) levels.

**MATERIALS AND METHODS:** The study was conducted on a sample of 100 volunteers of different age groups and genders, with varying health statuses, including individuals with type 1 and type 2 diabetes and those without diabetes. To collect data, we used a portable device developed by us, based on the registration of Raman spectra with laser excitation at 638 nm. The data were analyzed using Support Vector Machine neural networks.

**RESULTS:** After processing the spectroscopic measurements using Support Vector Machine, the system showed sensitivity (95,7%) and specificity (84,2%) in determining HbA<sub>1c</sub> levels comparable to traditional methods such as high-performance liquid chromatography. It was found that the algorithm is sufficiently adaptive and can be used across a wide range of skin types, regardless of the age and gender of the participants. The results suggest the possibility of using the developed device in clinical practice.

**CONCLUSION:** The developed portable glucometer based on Raman spectroscopy combined with machine learning algorithms could be a promising step towards non-invasive and continuous monitoring of glycemic levels in patients with diabetes.

**Keywords:** glycated hemoglobin; artificial intelligence; Raman spectroscopy; biomedical diagnostics; automatic pattern recognition; machine learning algorithms.

### To cite this article:

Poliker EE, Koshechkin KA, Timokhin AM, Klyukina EV, Brovko AM, Belyakova ED, Lalayan AS, Ermolaeva AS. Using neural networks for non-invasive determination of glycated hemoglobin levels, illustrated by the application of an innovative portable glucometer in clinical practice. *Digital Diagnostics.* 2024;X(X):124–126. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD627099>

## REFERENCES

1. Demircioglu N, Erdogan I, Ersoy YE, Abbasoglu AA. Raman spectroscopy for the non-invasive detection of glycosylated haemoglobin: A systematic review. *Advances in Clinical Chemistry*. 2019;88:71–90.
2. Chen L, Wang J, Yan X, Chen H, Ni X. Non-invasive measurement of hemoglobin A1c using Raman spectroscopy. *Analytical Methods*. 2019;11(37):4743–4750.
3. Ibtehaz N, Chowdhury MEH, Khandakar A, et al. RamanNet: a generalized neural network architecture for Raman spectrum analysis. *Neural Comput & Applic*. 2023;35:18719–18735. doi: 10.1007/s00521-023-08700-z
4. Yin C, Wang X, Xu H, et al. Raman spectroscopy-based noninvasive glycosylated hemoglobin detection in blood samples: A machine learning approach. *Analytical Chemistry*. 2021;93(7):3273–3279.
5. González-Viveros N, Castro-Ramos J, Gómez-Gil P, Cerecedo-Núñez HH. Characterization of glycosylated hemoglobin based on Raman spectroscopy and artificial neural networks. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*. 2021;247:119077. doi: 10.1016/j.saa.2020.119077
6. Trenerry MI, et al. Validation of high-performance liquid chromatography assays for determination of glycosylated hemoglobin in diabetic studies. *Clinica Chimica Acta*. 1996;246(1-2):91–102.

## ОБ АВТОРАХ

**\* Поликер Екатерина Ефимовна;**

ORCID: 0000-0002-9610-4511;

eLibrary SPIN: 3735-2532;

e-mail: katepoliker@gmail.com

**Кошечкин Константин Александрович;**

e-mail: koshechkin\_k\_a@staff.sechenov.ru

**Тимохин Александр Михайлович;**

e-mail: data.sup@ya.ru

**Клюкина Екатерина Вячеславовна;**

e-mail: katerina-klyukina@mail.ru

**Бровко Артем Михайлович;**

e-mail: ambrovko@mail.ru

**Белякова Екатерина Дмитриевна;**

e-mail: belyakova\_e\_d@student.sechenov.ru

**Лалаян Алина Сергеевна;**

e-mail: hemotech.ai@mail.ru

**Ермолаева Александра Сергеевна;**

e-mail: a.s.arkhipova@inbox.ru

## AUTHORS' INFO

**\* Ekaterina E. Poliker;**

ORCID: 0000-0002-9610-4511;

eLibrary SPIN: 3735-2532;

e-mail: katepoliker@gmail.com

**Konstantin A. Koshechkin;**

e-mail: koshechkin\_k\_a@staff.sechenov.ru

**Alexander M. Timokhin;**

e-mail: data.sup@ya.ru

**Ekaterina V. Klyukina;**

e-mail: katerina-klyukina@mail.ru

**Artem M. Brovko;**

e-mail: ambrovko@mail.ru

**Ekaterina D. Belyakova;**

e-mail: belyakova\_e\_d@student.sechenov.ru

**Alina S. Lalayan;**

e-mail: hemotech.ai@mail.ru

**Alexandra S. Ermolaeva;**

e-mail: a.s.arkhipova@inbox.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author