

СОДЕРЖАНИЕ ГЛЮКОЗЫ В КРОВИ И СОСТОЯНИЕ МЕСТНЫХ МЕХАНИЗМОВ ЕГО РЕГУЛЯЦИИ В НЕРАБОЧЕЙ РУКЕ У ЖЕНЩИН В УСЛОВИЯХ ГОЛОДА И НАСЫЩЕНИЯ

*Переверзев В.А., Сикорский А.В., Блажко А.С.,
Александров Д.А., Переверзева Е.В.*
Белорусский государственный медицинский университет,
Беларусь, Минск

Евсеев А.В., Правдивцев В.А.
Смоленский государственный медицинский университет,
Россия, Смоленск

Вэлком М.О.,
Нил Университет Нигерии,
Нигерия, Абуджа

Разводовский Ю.Е.
Институт биохимии биологически активных соединений НАН Беларуси
Беларусь, Гродно

В работе представлены данные о содержания глюкозы в цельной крови молодых женщин при УР натощак через 2, 4–6 ч от её начала по сравнению с исходным уровнем гликемии у этих же испытуемых в состоянии ОФП. Установлен важный местный механизм поддержания должного уровня гликемии при различных физиологических состояниях человека, заключающийся в участии в нём клеток (эндотелиоцитов) нерабочей руки, как нового независимого источника (основного и/или промежуточного) поступления глюкозы в кровь при голодании.

Ключевые слова: *глюкоза, гликемия, эндотелиоциты*

THE CONTENT OF GLUCOSE IN THE BLOOD AND THE STATE OF LOCAL MECHANISMS OF ITS REGULATION IN THE NON-WORKING HAND OF WOMEN UNDER CONDITIONS OF HUNGER AND SATURATION

*Pereverzev V.A., Sikorsky A.V., Blazhko A.S.,
Aleksandrov D.A., Pereverzeva E.V.*
Belarusian State Medical University,
Belarus, Minsk

Evseev A.V., Pravdivtsev V.A.
Smolensk State Medical University,

Russia, Smolensk

Welcome M.O.
*Neil University of Nigeria,
Nigeria, Abuja*

Razvodovsky Yu.E.
*Institute of Biochemistry of Biologically Active Compounds of the National
Academy of Sciences of Belarus Belarus, Grodno*

The paper presents data on the content of glucose in the whole blood of young women with UR on an empty stomach after 2.4–6 hours from its onset compared with the initial level of glycemia in the same subjects in the state of general physical condition. An important local mechanism for maintaining the proper level of glycemia under various physiological conditions of a person has been established, which consists in the participation of cells (endotheliocytes) of the non-working hand in it, as a new independent source (main and / or intermediate) of the supply of glucose into the blood during fasting.

Key words: *glucose, glycemia, endotheliocytes*

Цель. Изучить содержание глюкозы в цельной капиллярной ($\Gamma_{\text{КАП}}$) и цельной венозной ($\Gamma_{\text{ВЕН}}$) крови (включая капиллярно-венозную разницу $[\Gamma_{\text{КАП}} - \Gamma_{\text{ВЕН}}]$), полученной из одной и той же руки (нерабочей) у женщин для оценки состояния у них местных механизмов поддержания должного уровня гликемии при различных физиологических состояниях (голода и насыщения).

Методы. Исследование выполнено с участием 24 женщин возрастом 18–29 лет, давших добровольно информированное письменное согласие на участие в нём. Исследование заключалось в изучении у всех 24 женщин $\Gamma_{\text{КАП}}$ и $\Gamma_{\text{ВЕН}}$ при различных физиологических состояниях: голода (при относительном функциональном покое /ОФП/ и умственной работе /УР/ натошак) и насыщения (после перорального приёма 75 г глюкозы в условиях ОФП). В каждом исследовании участвовало от 1 до 3 испытуемых, а также врач и медицинская сестра.

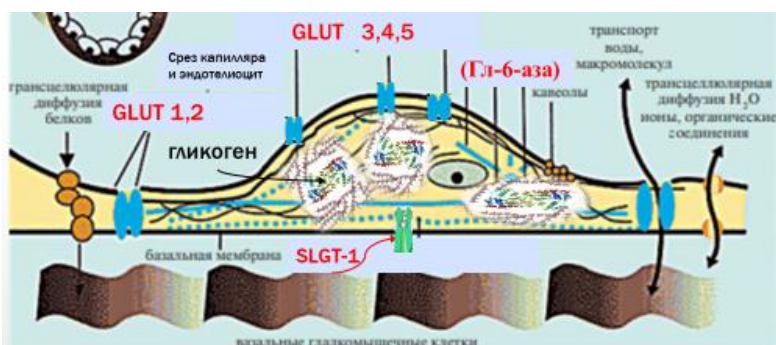
Перед началом исследования всем респонденткам ставился катетер в срединную локтевую вену нерабочей руки. Исследование проводилось натошак после 10–12 ч ночного голодания. $\Gamma_{\text{КАП}}$ и $\Gamma_{\text{ВЕН}}$ измеряли по 11 раз каждого: исходно натошак (в условиях ОФП и голодания); шесть раз при УР натошак через 1, 2, 3, 4, 5 и 6 ч от её начала (в условиях УР и голодания); четыре раза во время проведения перорального теста на толерантность к глюкозе (ПТТГ) в условиях ОФП и насыщения (через 30, 60, 90 и 120 минут после приема 75 г глюкозы, растворенной в 250 мл воды). Кроме определения абсолютных показателей $\Gamma_{\text{КАП}}$ и $\Gamma_{\text{ВЕН}}$ дополнительно в этих же условиях (ОФП

и голодания; УР и голодания; ОФП и насыщения) рассчитывали капиллярно-венозную разницу ($\Gamma_{\text{КАП}} - \Gamma_{\text{ВЕН}}$) для суждения о состоянии местных механизмов поддержания должного уровня гликемии.

Результаты исследования были подвергнуты статистической обработке с использованием методов параметрического и непараметрического анализа. Полученные результаты принимались как значимые при $p \leq 0,05$ или выполнении неравенства: $(C_{\text{КВ1}} - C_{\text{КВ2}}) / (\sqrt{m_{\text{КВ1}}^2 + m_{\text{КВ2}}^2}) > (3 + 6 / (N - 4))$ [3].

Результаты. Анализ исходного содержания $\Gamma_{\text{КАП}}$ и $\Gamma_{\text{ВЕН}}$ всех 24 испытуемых натошак (в условиях голодания при ОФП) и её динамики во время УР показало понижение гликемии на 0,05 мМ ($p > 0,05$) – 0,37 мМ ($p < 0,05$) для $\Gamma_{\text{КАП}}$ и на 0,14 мМ ($p > 0,05$) – 0,30 мМ ($p < 0,05$) для $\Gamma_{\text{ВЕН}}$, а также суммарно по всем 48 образцам (24 образца $\Gamma_{\text{КАП}}$ + 24 образца $\Gamma_{\text{ВЕН}}$) через: 1 ч -0,13 \pm 0,10 мМ ($p > 0,05$); 2 ч -0,23 \pm 0,10 мМ ($p < 0,05$); 3 ч -0,12 \pm 0,10 мМ ($p > 0,05$); 4 ч -0,27 \pm 0,11 мМ ($p < 0,05$); 5 ч -0,33 \pm 0,11 мМ ($p < 0,05$); 6 ч -0,26 \pm 0,10 мМ ($p < 0,05$). Эти результаты подтвердили известные факты о роли глюкозы как энергетического субстрата для работы ЦНС, потребность в котором существенно нарастает во время УР, а возможности её восполнения при голодании ограничены, что и приводит к снижению уровня гликемии достоверно выраженному через 2, 4, 5 и 6 ч УР натошак.

Рис. Эндотелиоциты и их участие в обмене глюкозы



Переносчики глюкозы - GLUT1, GLUT4 [Susan, et al. 2022], GLUT3 [Knott RM, et al. 1996] высоко экспрессируются в эндотелиальных клетках. Gaudreault N и соавт. (2004) сообщили об экспрессии GLUT-1, -2, -3, -4 и -5 на апикальной стороне эндотелиальных клеток, тогда как SGLT-1 преимущественно располагался на аблюминальной (базолатеральной) стороне.

1,8 кг

Метаболизм эндотелиальных клеток имеет решающее значение для прорастания сосудов и служит движущей силой ангиогенеза [Katerina Rohlenova, et al. 2018]. Помимо гликолиза, окислительного фосфорилирования, метаболизма глутамина и окисления жирных кислот [Susan, et al. 2022], эндотелиальные клетки запасают и катаболизируют гликоген, необходимый для быстрого поддержания функций эндотелия при физиологических и патологических стимулах (диабет, рак). Интересно, что переключение метаболических процессов предшествует функциональным изменениям и патологическим состояниям в эндотелиальных клетках [Knott RM, et al. 1996; Gaudreault N, et al. 2004; Amemiya T 1983; Yokota C, Okuda Y 2002; Artwohl M, et al. 2007]. Хотя основным источником АТФ в эндотелиальных клетках является аэробный гликолиз [Susan, et al. 2022], данные убедительно указывают на то, что хранение и расщепление гликогена могут играть решающую роль при функциональных или патологических состояниях [Susan, et al. 2022].

Кроме того, глюкозо-6-фосфатаза, фермент, обнаруженный в основном в печени и почках, играет важную роль в обеспечении глюкозы в периоды голодания. Глюкозо-6-фосфатаза (Гл-6-аза) также экспрессируется в эндотелиальных клетках [Broadwell RD, et al. 1983; Kazimierczak J 1965].

Анализ всех 264 случаев индивидуального сопоставления содержания $\Gamma_{\text{КАП}}$ и $\Gamma_{\text{ВЕН}}$ (24 сопоставления/раз • 11 раз = 264 случаев сопоставления) показал, что вариант « $\Gamma_{\text{КАП}} < \Gamma_{\text{ВЕН}}$ » достоверно преобладал над другими: в 2,04 раза ($p < 0,05$) над « $\Gamma_{\text{КАП}} > \Gamma_{\text{ВЕН}}$ » и в 7,71 раза ($p < 0,001$) над « $\Gamma_{\text{КАП}} = \Gamma_{\text{ВЕН}}$ ».

Полученные факты свидетельствуют о том, что в 61,7% случаев в цельной венозной крови, оттекающей от нерабочей руки, содержание глюкозы возрастает по сравнению с притекающей к ней кровью (« $\Gamma_{\text{КАП}} < \Gamma_{\text{ВЕН}}$ »), что позволяет рассматривать клетки этой части тела как ранее неизвестный, новый источник поступления эндогенной глюкозы в кровь, обеспечивающий важный местный механизм поддержания должного уровня гликемии при голодании.

Можно предполагать, что этими клетками, как основным или промежуточным источником глюкозы для поддержания должного уровня гликемии при голодании, могут быть эндотелиоциты (рисунок).

Рассчитанный вклад этого нового источника (местного механизма выделения глюкозы в кровь из клеток нерабочей руки) в поддержании должного уровня гликемии колебался от 8,2% до 26,0% ($p < 0,05$).

Заключение. Выявлено достоверное снижение содержания глюкозы в цельной крови молодых женщин при УР натошак через 2, 4–6 ч от её начала по сравнению с исходным уровнем гликемии у этих же испытуемых в состоянии ОФП.

Установлен важный местный механизм поддержания должного уровня гликемии при различных физиологических состояниях человека, заключающийся в участии в нём клеток (эндотелиоцитов) нерабочей руки, как нового независимого источника (основного и/или промежуточного) поступления глюкозы в кровь при голодании, рассчитанный вклад которого составлял 8,2–26,0% ($p < 0,05$).

Список литературы

1. Amemiya T. Glycogen metabolism in the capillary endothelium. Electron histochemical study of glycogen synthetase and phosphorylase in the pecten capillary of the chick // *Acta Histochemica*. – 1983. – V. 73, N 1. – P.93-96. DOI: 10.1016/s0065-1281(83)80080-4.
2. Artwohl M, Brunmair B, C. Fürnsinn, T. et al. Insulin does not regulate glucose transport and metabolism in human endothelium // *THE EUROPEAN JOURNAL OF CLINICAL INVESTIGATION*. – 2007. – V. 37, Is. 8. – P. 643-650. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2362.2007.01838.x>
3. Broadwell R.D., Cataldo A.M., Salzman M. Cytochemical localization of glucose-6-phosphatase activity in cerebral endothelial cells // *The Journal of HISTOCHEMISTRY and CYTOCHEMISTRY*. – 1983. – V. 31, N 6. – P.818-22. doi: 10.1177/31.6.6302165.
4. Gaudreault N., Scriven D.R., Moore E.D. Characterisation of glucose transporters in the intact coronary artery endothelium in rats: GLUT-2 upregulated by long-term hyperglycaemia. – *Diabetologia*. – 2004. – V.47, N 12. – P. 2081-92. doi: 10.1007/s00125-004-1583-4.
5. Katerina Rohlenova, Koen Veys, Ines Miranda-Santos et al. Endothelial Cell Metabolism in Health and Disease // *TRENDS IN CELL BIOLOGY - Journal*. – 2018. – V. 28, Is. 3. – P. 224-236. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tcb.2017.10.010>

6. Kazimierczak J. Selective demonstration of vascular endothelium by a modified method for glucose-6-phosphatase // *Acta pathologica et microbiologica Scandinavica*. – 1965. – V.63. – P. 319-20. doi: 10.1111/apm.1965.63.2.319
7. Knott R.M., Robertson M., Muckersie E. and Forrester J.V. Regulation of glucose transporters (GLUT-1 and GLUT-3) in human retinal endothelial cells // *The BIOCHEMICAL Journal*. – 1996. – V. 318 (Pt 1). – P. 313–317. doi: 10.1042/bj3180313
8. Susan, Wai Sum Leung and Yi Shi. The glycolytic process in endothelial cells and its implications // *Acta Pharmacologica Sinica*. – 2022. – V. 43. – P. 251–259; <https://doi.org/10.1038/s41401-021-00647-y>
9. Yokota C., Okuda Y. Glucose metabolism in vascular endothelial cells // *Nihon Rinsho*. – 2002. – V. 60, N 7. – P. 324-30.