

ISSN 2225-6016

ВЕСТНИК

*Смоленской государственной
медицинской академии*

Том 18, №4

2019



УДК 612.352.12

03.03.01 Физиология

К ВОПРОСУ О НОВЫХ ИСТОЧНИКАХ ПОСТУПЛЕНИЯ ЭНДОГЕННОЙ ГЛЮКОЗЫ В КРОВЬ ПРИ ГОЛОДАНИИ**© Переверзев В.А.¹, Сикорский А.В.¹, Блажко А.С.¹, Евсеев А.В.², Никитина О.С.¹, Разводовский Ю.Е.³, Вэлком М.О.⁴, Переверзева Е.В.¹**¹*Белорусский государственный медицинский университет, Республика Беларусь, 220116, Минск, пр. Дзержинского, 83*²*Смоленский государственный медицинский университет, Россия, 214019, Смоленск, ул. Крупской, 28*³*Институт биохимии биологически активных соединений НАН Беларуси, Республика Беларусь, 230009, Гродно, ул. Бульвар ленинского комсомола, 50*⁴*Нил Университет Нигерии, Нигерия, ФТС, Абуджа, 240102, объездная дорога аэропорта Джаби, область исследований и учреждений, Кадастровая зона С-ОО, участок 681**Резюме*

Цель. Установление новых источников поступления эндогенной глюкозы в кровь для поддержания должного уровня гликемии при разных функциональных состояниях (покоя и умственной работы) человека в условиях голодания, когда её экзогенное поступление минимально либо отсутствует.

Методика. Исследование выполнено с участием 13 молодых женщин 19-29 лет. У каждой испытуемой делалось по 14 определений содержания глюкозы: в цельной капиллярной крови, взятой из 4 пальца нерабочей руки (7 раз); в цельной венозной крови, взятой через катетер из срединной локтевой вены, той же нерабочей верхней конечности (также 7 раз сразу после забора капиллярной крови). Первые (исходные) определения содержания глюкозы в цельной капиллярной крови и в цельной венозной крови производили у испытуемых в состоянии функционального покоя натощак (через 10-12 ч. после приёма пищи, ночного голодания). Следующие 12 определений содержания глюкозы в крови производили у молодых женщин во время их умственной деятельности по 2 раза (сначала в цельной капиллярной, а затем в цельной венозной крови) через 1, 2, 3, 4, 5 и 6 ч. от начала работы. Содержание глюкозы в цельной (капиллярной и венозной) крови определялось глюкозооксидазным методом с амперометрической детекцией при помощи системы контроля уровня глюкозы «Rightest GM100» (фирмы «Bionime», Швейцария) в 1-3 мкл крови с точностью до 0,1 мМ/л. Определяли абсолютные показатели содержания глюкозы в цельной капиллярной крови и цельной венозной крови, а также дополнительно рассчитывали капиллярно-венозную разницу в уровне гликемии. Положительные значения капиллярно-венозной разницы гликемии рассматривалось как свидетельство использования (потребления) глюкозы клетками тканей нерабочей руки. Отрицательные значения капиллярно-венозной разницы гликемии рассматривалось как свидетельство поступления глюкозы из клеток тканей нерабочей руки в кровь.

Результаты. Выявлено достоверное снижение содержания глюкозы в цельной капиллярной (на 6,8-13,9%) и цельной венозной (на 7,9-18,3%) крови молодых женщин при умственной работе натощак через 2-6 ч. после её начала по сравнению с исходным уровнем гликемии у этих же испытуемых в состоянии функционального покоя. Индивидуальный анализ капиллярно-венозной разницы содержания глюкозы в сосудах нерабочей руки натощак в состоянии как функционального покоя, так и функциональной активности (умственной работы) показал наличие среди испытуемых двух групп. Первую группу составили молодые женщины (8 человек), у которых капиллярно-венозная разница гликемии в состоянии функционального покоя и умственной работы натощак была отрицательной в 100% и $83,3 \pm 5,4\%$ ($p < 0,001$) случаев соответственно. Вторую группу из пяти молодых женщин составили испытуемые, у которых содержание глюкозы в цельной капиллярной крови было выше её содержания в цельной венозной крови как исходно в состоянии функционального покоя натощак, так и при умственной работе во время голодания. Достоверно более высокое содержание глюкозы в цельной венозной крови по сравнению с цельной капиллярной кровью у молодых женщин 1-й группы свидетельствует, что источником её поступления в кровь являются клетки тканей верхних конечностей – эндотелиоциты сосудов нерабочей руки (как основной и/или промежуточный источник) и, возможно, другие клетки (например, эпителиоциты кожи или иные). Рассчитанный вклад этого нового эндогенного источника глюкозы (эндотелиоцитов сосудов руки и, возможно, других клеток) в поддержание (повышение) должного уровня гликемии натощак составил у испытуемых 1-й группы в состоянии функционального покоя 34,2% ($p < 0,005$) и умственной работы в условиях голодания от 16,8% до 33,7% ($p < 0,01$).

Заключение. Полученные факты, исключаяющие участие клеток печени, почек и кишечника в повышении уровня гликемии в цельной венозной крови, оттекающей от нерабочей руки по сравнению с капиллярной, и анализ научной литературы позволяют обоснованно предполагать, что таким новым, неопианным ранее источником поступления эндогенной глюкозы в кровь натошак могут быть эндотелиоциты сосудов нерабочей руки в виде основного или промежуточного (если глюкоза поступает в них из эпителиоцитов кожи) источника или другие клетки (например, форменные элементы крови).

Ключевые слова: глюкоза, гликемия, цельная кровь (капиллярная, венозная), источник, эндотелиоциты

ON THE ISSUE OF NEW SOURCES OF ENDOGENOUS GLUCOSE IN BLOOD DURING FASTING

Pereverzev V.A.¹, Sikorsky A.V.¹, Blazhko A.S.¹, Evseev A.V.², Nikitina O.S.¹,
Razvodovsky Yu.E.³, Velkom M.O.⁴, Pereverzeva E.V.¹

¹Belarusian state medical University, 83, Dzerzhinsky Ave., 220116, Minsk, Republic of Belarus

²Smolensk state medical University, 28, Krupskoj St., 214019, Smolensk, Russia

³Institute of biochemistry of biologically active compounds of NAS of Belarus, 50, Bulvar Leninskjgo Komsomola St., 230009, Grodno, Republic of Belarus

⁴Nile University of Nigeria, site 681, Cadastral zone C-OO, research and institutions area, 240102, Jabi airport bypass, Abuja, Nigeria, FCS

Abstract

Objective. To establish new sources of endogenous glucose in the blood to maintain the proper level of glycemia in different functional states (rest and mental work) of a person under conditions of starvation, when its exogenous intake is minimal or absent.

Methods. The study was carried out with the participation of 13 young women aged 19-29 years. Each test subject had 14 determinations of glucose content: in whole capillary blood taken from 4 fingers of a non-working hand (7 times); in whole venous blood taken through a catheter from the median ulnar vein of the same inoperative upper limb (also 7 times immediately after capillary blood sampling). The first (initial) determinations of glucose in whole capillary blood and in whole venous blood were made in subjects in a state of functional rest on an empty stomach (10-12 hours after eating, night fasting). The following 12 determinations of blood glucose were performed in young women 2 times during their mental activity (first in whole capillary and then in whole venous blood) at 1, 2, 3, 4, 5, and 6 hours from the start of work. The glucose content in whole (capillary and venous) blood was determined by the glucose oxidase method with amperometric detection using the Rightest GM100 glucose level control system (Bionime, Switzerland) in 1-3 μ l of blood with an accuracy of 0.1 mM / L. Absolute glucose values in whole capillary blood and whole venous blood were determined, and capillary-venous difference in glycemia level was additionally calculated. The positive values of capillary-venous difference in glycemia was considered as evidence of the use (consumption) of glucose by cells of tissues of the non-working arm. Negative values of capillary-venous difference in glycemia were considered as evidence of glucose from the cells of tissues of the non-working arm into the blood.

Results. A significant decrease in glucose was found in whole capillary (by 6.8-13.9%) and whole venous (by 7.9-18.3%) blood of young women with mental work on an empty stomach 2-6 hours after its start, compared with the initial level of glycemia in the same subjects in a state of functional rest. An individual analysis of the capillary-venous difference in glucose content in the vessels of an idle hand on an empty stomach in a state of both functional rest and functional activity (mental work) showed the presence of two groups among the subjects. The first group consisted of young women (8 people), in whom capillary-venous difference in glycemia in the state of functional rest and mental work on an empty stomach was negative in 100% and 83.3 \pm 5.4% ($p < 0.001$) cases, respectively. The second group of five young women consisted of subjects in whom the glucose content in whole capillary blood was higher than its content in whole venous blood, both initially in a state of functional rest on an empty stomach and during mental work during fasting. A significantly higher glucose content in whole venous blood compared with whole capillary blood in young women of the 1st group indicates that the source of its entry into the blood is tissue cells of the upper extremities – endothelial cells of the vessels of the non-working arm (as the main and / or intermediate source) and possibly other cells (e.g. skin epithelial cells or others). The calculated contribution of this new endogenous source of glucose (endothelial cells of the blood vessels of the hand

and, possibly, other cells) to the maintenance (increase) of the proper fasting in the subjects of the 1st group glycemia was 34.2% ($p < 0.005$) and mental work in a state of functional rest under fasting conditions, from 16.8% to 33.7% ($p < 0.01$).

Conclusion. The facts obtained, excluding the participation of cells of the liver, kidney and intestine to increase the level of glycemia in venous blood flowing from of the non-working arm compared to the capillary, and analysis of scientific literature make it possible to reasonably assume that a new, previously undescribed source of endogenous glucose in blood on an empty stomach may be the endothelial cells of blood vessels outside a main or intermediate (when glucose is supplied to them from the epithelial cells of the skin) source or other cells (e.g. the formed elements of blood).

Keywords: glucose, glycemia, whole blood (capillary, venous), source, endotheliocytes

Введение

Уровень гликемии является одним из важнейших показателей обмена углеводов в организме и его энергетического гомеостаза. Глюкоза необходима, прежде всего, для питания и работы клеток центральной нервной системы (нейронов и глиоцитов), почек (нефроцитов мозгового вещества) и крови (эритроцитов и других). Они потребляют соответственно не менее 50%, 10% и 10% её суточного экзогенного поступления в организм человека и не менее 100, 30 и 30 грамм в условиях голодания. Клетки других органов и тканей потребляют оставшиеся 30% от суточного поступления глюкозы. В качестве источников поступления глюкозы в кровь рассматриваются: пищеварительная система в течение первых 6-ти часов после приёма пищи за счёт извлечения данного моносахарида из химуса; печень через 6 и более часов голодания; печень и почки в равной степени при голодании более 18 ч. [1, 8, 11, 12]. Гепатоциты являются депо глюкозы, запасаемой в виде гликогена, и мобилизуемой из неё при голодании за счет гликогенолиза. В печени также активно протекает процесс глюконеогенеза, в результате чего глюкоза, образуемая из гликогенных аминокислот или других органических веществ, может поступать в кровь. Почки являются вторым по важности органом поступления эндогенной глюкозы в кровь за счёт её возврата (реабсорбции) из первичной мочи и её синтеза при глюконеогенезе. Вклад эпителиоцитов кишечника в поддержание должного уровня гликемии при голодании минимален или отсутствует.

Целью исследования явилось установление новых источников поступления эндогенной глюкозы в кровь для поддержания должного уровня гликемии при разных функциональных состояниях (покоя и умственной работы) человека в условиях голодания, когда её экзогенное поступление минимально либо отсутствует.

Методика

Исследование выполнено с участием 13 молодых женщин 19-29 лет. У каждой испытуемой делалось по 14 определений содержания глюкозы: в цельной капиллярной крови, взятой из 4 пальца нерабочей руки (7 раз); в цельной венозной крови, взятой через катетер из срединной локтевой вены, той же нерабочей верхней конечности (также 7 раз сразу после забора капиллярной крови). Первые (исходные) определения содержания глюкозы в цельной капиллярной крови и в цельной венозной крови производили у испытуемых в состоянии функционального покоя натощак (через 10-12 ч. после приёма пищи, ночного голодания). Следующие 12 определений содержания глюкозы в крови производили у молодых женщин во время их умственной деятельности по 2 раза (сначала в цельной капиллярной, а затем в цельной венозной крови) через 1, 2, 3, 4, 5 и 6 ч. от начала работы.

Содержание глюкозы в цельной (капиллярной и венозной) крови определялось глюкозооксидазным методом с амперометрической детекцией при помощи системы контроля уровня глюкозы «Rightest GM100» (фирмы «Bionime», Швейцария) в 1-3 мкл крови с точностью до 0,1 мМ/л. Глюкометр «Rightest GM100» рекомендован к использованию Американской диабетической ассоциацией [10] и Министерством здравоохранения Республики Беларусь (номер гос. регистрации МЗ РБ ИМ-7.94636 от 28.08.2008 г). Определяли абсолютные показатели содержания глюкозы в цельной капиллярной крови и цельной венозной крови, а также дополнительно рассчитывали капиллярно-венозную разницу в уровне гликемии. Положительные значения капиллярно-венозной разницы гликемии рассматривалось как свидетельство

использования (потребления) глюкозы клетками тканей нерабочей руки. Отрицательные значения капиллярно-венозной разницы гликемии рассматривалось как свидетельство поступления глюкозы из клеток тканей нерабочей руки в кровь.

Статистическая обработка полученных результатов произведена с помощью Excell 2007 и стандартного статистического пакета SPSS (Statistical Package for the Social Science) 16 версии для Windows. Достоверными были признаны результаты при уровне значимости $p < 0,05$ [2, 6].

Результаты исследования

В цельной капиллярной и цельной венозной крови содержание глюкозы у всех испытуемых натошак в состоянии функционального покоя находилось в пределах физиологической нормы. При умственной деятельности уровень гликемии достоверно понижался у испытуемых через 2-6 ч. после начала работы как в цельной венозной крови на 7,9-18,3%, так и в цельной капиллярной крови на 6,8-13,9% (табл. 1) по отношению к исходному содержанию глюкозы у этих же молодых женщин в состоянии функционального покоя. Полученные результаты подтверждает представления о важной роли глюкозы как энергетическом и пластическом субстрате для работы клеток ЦНС, потребность в котором существенно нарастает (на 40 – 100%) во время умственной деятельности [1, 8, 12].

Таблица 1. Содержание глюкозы в цельной капиллярной и цельной венозной крови у испытуемых в состоянии функционального покоя и динамика гликемии у них во время умственной работы натошак по отношению к её исходному уровню

Состояние испытуемых	Содержание глюкозы в крови в состоянии функционального покоя (исходно) и динамика гликемии при умственной работе (M±m, ммоль/л)			
	в цельной капиллярной крови		в цельной венозной крови	
Функционального покоя	4,98±0,13		5,29±0,25	
Умственная работа:				
1 ч.	(4,69)	-0,29±0,14	(4,98)	-0,31±0,15
2 ч.	(4,54)	-0,44±0,16 *	(4,69)	-0,60±0,19 *
3 ч.	(4,64)	-0,34±0,10 *	(4,87)	-0,42±0,13 *
4 ч.	(4,57)	-0,41±0,19 *	(4,86)	-0,43±0,14 *
5 ч.	(4,46)	-0,52±0,12 *	(4,69)	-0,60±0,14 *
6 ч.	(4,29)	-0,69±0,20 *	(4,32)	-0,97±0,25 *

Примечание: * – различия достоверны ($p < 0,05$) по отношению к исходному содержанию глюкозы в цельной крови из соответствующего места забора (капилляров или срединной локтевой вены)

В условиях функционального покоя натошак среднее содержание глюкозы у испытуемых (по всей группе из 13) составило в цельной капиллярной крови 4,98 ммоль/л и цельной венозной крови 5,29 ммоль/л (табл. 1). Соответственно, капиллярно-венозная разница составила -0,31 ммоль/л. Выявленный факт указывал на возможность поступления глюкозы в кровь (плазму крови) из эндотелиоцитов сосудов нерабочей руки. Причем эти отрицательные значения капиллярно-венозной разности гликемии сохранялись на всем протяжении функциональной активности респондентов, особенно выраженные в первые пять часов (от -0,15 до -0,26 ммоль/л) от её начала (табл. 1).

Индивидуальный анализ капиллярно-венозной разницы в содержании глюкозы натошак в состоянии функционального покоя показал наличие среди испытуемых двух групп. Первую группу составили восемь молодых женщин, у которых капиллярно-венозная разница гликемии натошак была отрицательной (61,5±13,5% случаев, $p < 0,001$). У них содержание глюкозы в цельной венозной крови было на 0,3-1,4 ммоль/л выше (на 0,65±0,13 ммоль/л в среднем по этим 8 случаям, $p < 0,001$), чем в цельной капиллярной крови. У оставшихся пяти молодых женщин 2-й группы содержание глюкозы в цельной капиллярной крови составило 5,04 ммоль/л и было на 0,88±0,10 ммоль/л ($p < 0,005$) выше её содержания в цельной венозной крови (4,16 ммоль/л). Выявленные факты позволили предполагать, что у этих двух групп испытуемых реализовывались разные механизмы поддержания должного уровня гликемии. У молодых женщин 1-й группы клетки тканей верхних конечностей выступали в качестве источников поступления глюкозы в кровь в условиях 10-12 ч. голодания, а у испытуемых 2-й группы наоборот – эти клетки являлись

потребителями глюкозы. Если допустить, что верхние конечности получают 9% минутного объема кровотока [7] или 450 мл цельной крови ($5000 \text{ мл/мин} \times 0,09 = 450 \text{ мл/мин}$), то выход глюкозы в кровь у молодых женщин 1-й группы составил в среднем $52,7 \pm 10,5 \text{ мг/мин}$ (табл. 2). Известно [2, 8, 9], что в условиях физиологического покоя натощак (через 10-16 ч. после приёма пищи) скорость синтеза эндогенной глюкозы и её использования тканями примерно одинакова и составляет в среднем около $2,2 \pm 0,4 \text{ мг/кг}$ в мин. ($154 \pm 28 \text{ мг/мин}$ для человека массой 70 кг). Учитывая приведенные нами выше факты о поступлении эндогенной глюкозы в кровь из клеток верхних конечностей ($52,7 \text{ мг/мин}$) и данные научных источников [3, 4, 8, 12], можно утверждать, что их вклад в поддержание уровня гликемии натощак в состоянии функционального покоя составил в среднем $34,2(\pm 6,8)\%$ у молодых женщин 1-й группы.

Таблица 2. Капиллярно-венозная разница содержания глюкозы (КВРСГ) между цельной капиллярной и цельной венозной кровью у испытуемых 1-й группы при разных функциональных состояниях и рассчитанный вклад в поддержание должного уровня гликемии (РВ в ПДУГ)

Состояние испытуемых	КВРСГ, ммоль/л ($M \pm m$)	РВ (мг/мин) в ПДУГ (% от потребления)	
Функционального покоя	$-0,65 \pm 0,13$ *	$52,7 \text{ мг/мин}$ *	$34,2\%$ *
Умственная работа 1 ч.	$-0,52 \pm 0,19$ *	$42,1 \text{ мг/мин}$ *	$27,4\%$ *
Умственная работа 2 ч.	$-0,32 \pm 0,26$	$25,9 \text{ мг/мин}$	$16,8\%$
Умственная работа 3 ч.	$-0,64 \pm 0,19$ *	$51,8 \text{ мг/мин}$ *	$33,7\%$ *
Умственная работа 4 ч.	$-0,54 \pm 0,28$	$43,7 \text{ мг/мин}$	$28,4\%$
Умственная работа 5 ч.	$-0,58 \pm 0,10$ *	$47,0 \text{ мг/мин}$ *	$30,5\%$ *
Умственная работа 6 ч.	$-0,60 \pm 0,23$ *	$48,6 \text{ мг/мин}$ *	$31,6\%$ *

Примечания: * – различия достоверны ($p < 0,05$) по отношению к содержанию глюкозы в цельной капиллярной. Формула для расчёта РВ: $\text{РВ} = \text{РВСГ} (\text{ммоль/л}) \times \text{молекулярная масса глюкозы} (180 \text{ мг/ммоль}) \times \text{O}$ (объём крови протекающий через верхние конечности, л/мин); РВ в покое $0,65 \text{ ммоль/л} \times 180 \text{ мг/ммоль} \times 0,45 \text{ л/мин} = 52,7 \text{ мг/мин}$. РВ в ПДУГ (% от потребления) в состоянии функционального покоя от 154 мг/мин потребления глюкозы, при умственной работе от 231 мг/мин

Дальнейший анализ индивидуальных показателей динамики капиллярно-венозной разницы гликемии во время умственной работы натощак показал следующее. В 1-й группе из 8 испытуемых, не смотря на снижение уровня гликемии у них, капиллярно-венозная разница в абсолютном числе случаев сохранялась прежней и была отрицательной в 40 случаях из 48 сопоставлений ($83,3 \pm 5,4\%$, $p < 0,001$) полученных показателей во время умственной работы натощак. Таким образом, одним из источников поступления глюкозы в кровь у этих 8 испытуемых во время голодания и функциональной (умственной) активности натощак являются клетки тканей верхних конечностей, вероятнее всего: эндотелиоциты сосудов (как основной и/или промежуточный источник); возможно, эпителиоциты кожи или другие клетки. У остальных 5 молодых женщин эта капиллярно-венозная разница содержания глюкозы в цельной крови была положительной исходно в состоянии функционального покоя, она сохранялась таковой и в большинстве случаев во время умственной работы (за исключением 3 случаев из 30 сопоставлений). Следовательно, суммарные результаты 78 сопоставлений капиллярно-венозная разница содержания глюкозы в цельной крови в условиях функциональной активности натощак (интенсивного использования глюкозы ЦНС) показывают, что в 43 случаях (или $55,1 \pm 5,6\%$, $p < 0,001$) источником глюкозы для поступления в кровь испытуемых были клетки тканей верхних конечностей (эндотелиоциты сосудов и, возможно, другие), что предполагает участие в этом процессе гораздо большего числа клеток, а не только гепатоцитов или эпителиоцитов почечных канальцев или кишечника. Учитывая, что измерение уровня гликемии проводится все-таки в плазме крови (хотя бралась для этого цельная кровь) нельзя исключить в этом случае и участия форменных элементов крови, если допустить не только использование ими глюкозы для собственных потребностей, но и её депонирование для поддержания должного уровня гликемии в плазме.

Расчет динамики показателя капиллярно-венозной разницы гликемии во время умственной работы натощак из испытуемых из 1-й группы показал, что выделение глюкозы в кровь сохраняется у них на всём протяжении активного функционального состояния. Об этом свидетельствуют отрицательные значения показателей капиллярно-венозной разницы на всем протяжении исследования (табл. 2), достигая достоверных различий через 1, 3, 5 и 6 ч. умственной работы испытуемыми 1-й группы. Расчет вклада клеток тканей нерабочей руки в поддержание гликемии во время функциональной (умственной) активности с учётом повышения потребности в глюкозе (на 40-100% мозгом и, соответственно, на 20 – 50% всем организмом) у этой группы испытуемых составлял от $16,8\%$ до $33,7\%$ ($p < 0,01$) на разных временных этапах деятельного состояния.

Обсуждение результатов исследования

Учитывая представленные доказательства достаточного весомого (до 34,2%) вклада клеток тканей верхних конечностей (и/или, возможно, форменных элементов) в поддержании должного уровня гликемии натощак в качестве источника глюкозы, сопоставимого с вкладом печени и почек, закономерно встаёт вопрос об участии в этом конкретных видов клеток.

Хорошо установленные факты [2, 9-11] о путях и механизмах обмена глюкозы в организме и крови позволяют утверждать об однозначном участии в них эпителиоцитов разных органов и эндотелиоцитов сосудов, которые являются как источниками поступления глюкозы в кровь, так и удаления её из крови. Это утверждение обусловлено следующими известными фактами. Во-первых, для однослойных эпителиев (например, призматического эпителия слизистой оболочки тонкого кишечника, призматического и кубического эпителиев почечных канальцев, эндотелиоцитов), а также гепатоцитов характерна высокая проницаемость их мембран (как апикальной, так и базальной) для глюкозы. Это достигается за счёт высокого содержания в мембранах эпителиоцитов соответствующих белков-транспортеров семейства SGLT₁₋₆ (от англ. Sodium-GLucose-coTransporter) и GLUT₁₋₁₄ (от англ. GLUcose-Transporter) [3-5, 8, 9, 11, 12]. Так, за сутки через слизистую кишечника (а значит через энтероциты и их сначала апикальную, а затем и базальную мембраны; базальную мембрану; и через эндотелиоциты и их аблюминальную и люминальную мембраны) в кровь поступает 250-400 г углеводов, в основном в виде глюкозы. В почках из первичной мочи в кровь (а значит через призматические эпителиоциты проксимальных канальцев, их апикальную и базальную мембраны, базальную мембрану и эндотелиоциты (их аблюминальную и люминальную мембраны) 2-й сети капилляров) возвращается в кровь 150-200 г глюкозы. Через эндотелиоциты капилляров уже в обратном направлении через их люминальную и аблюминальную мембраны к клеткам организма поступают эти же 250-400 г углеводов. Во-вторых, движение глюкозы в эндотелиоцитах может происходить в противоположных направлениях по отношению к крови: поступать в кровь (например, через эндотелиоциты в сосудах кишечника и почек) или удаляться из крови (через эндотелиоциты в сосудах головного мозга, скелетных мышц или других органов). В-третьих, поступление глюкозы и её выход из эндотелиоцитов в кровь или в межклеточное пространство происходит в основном унипортом с участием белков семейства GLUT₁₋₃ (ГЛЮТ₁₋₃) [5, 9]. Эти белки-транспортёры являются для глюкозы двусторонне проходимыми каналами и направление её движения определяется, прежде всего, концентрацией этого моносахарида в плазме крови, в клетках (эндотелиоцитах) и вне их. В-четвертых, эндотелиоциты способны запасать глюкозу в виде гликогена, а их общая масса от 1 до 1,8 кг сопоставима с массой печени [9].

Таким образом, указанные факты позволяют рассматривать эндотелиоциты сосудов (капилляров, венул) конечностей (у испытуемых 1-й группы) как новый независимый источник (основной и/или промежуточный) поступления глюкозы в кровь натощак в состоянии функционального покоя и функциональной активности (умственной деятельности). Эти же факты позволяют говорить и об новой функции этих клеток (эндотелиоцитов малоактивных или неработающих органов и/или участков тела) – депо эндогенной глюкозы для восполнения её содержания в крови во время голодания наравне с гепатоцитами (печенью), нефроцитами (почками) и энтероцитами (кишечником). Возможно, что эту функцию депо эндогенной глюкозы для её поступления в кровь (плазму крови) и поддержания должного уровня гликемии во время голодания могут выполнять и другие клетки как тканей верхних конечностей (например, эпителиоциты кожи) или других малоактивных участков, так и самой крови.

Выводы

1. Выявлено достоверное снижение содержания глюкозы в цельной капиллярной (на 6,8-13,9%) и цельной венозной (на 7,9-18,3%) крови молодых женщин при умственной работе натощак через 2-6 ч. после её начала по сравнению с исходным уровнем гликемии у этих же испытуемых в состоянии функционального покоя.
2. Установлены факты: более высокого (на $0,65 \pm 0,13$ мМ/л, $p < 0,001$) содержания глюкозы в цельной венозной крови (5,59 мМ/л), оттекающей от нерабочей руки у 61,5% испытуемых (8-и молодых женщин из 13 человек) по сравнению с её уровнем в цельной капиллярной крови (4,94 мМ/л) этой же руки в исходном состоянии натощак (через 10-12 ч. после приёма пищи); большой статистически значимой частоты ($85,4 \pm 5,1\%$, $p < 0,001$) аналогичных случаев более

высокой гликемии венозной крови (41 из 48), измеряемой в динамике умственной работы испытуемых в условиях голодания.

3. Полученные факты, исключающие участие клеток печени, почек и кишечника в повышении уровня гликемии в цельной венозной крови, оттекающей от нерабочей руки по сравнению с капиллярной, и анализ научной литературы позволяют обоснованно предполагать, что таким новым, неописанным ранее источником поступления эндогенной глюкозы в кровь натошак могут быть эндотелиоциты сосудов нерабочей руки (и/или, возможно, другие клетки, например, эпителиоциты кожи или даже форменные элементы самой крови).
4. Рассчитанный вклад этого неописанного ранее источника эндогенной глюкозы (эндотелиоцитов сосудов нерабочей руки и/или других клеток /например, кожи или форменных элементов/) в повышении и удержании должного уровня гликемии натошак составил в состоянии функционального покоя 34,2% ($p < 0,001$) и умственной работы в условиях голодания от 16,8% до 33,7% ($p < 0,01$).

Литература (references)

1. Биологическая химия / под ред. А.Д. Тагановича. – М., Минск, 2008. – 688 с. [*Biologicheskaya himiya* Biological Chemistry. – Moscow, Minsk, 2008. – 688 p. (in Russian)]
2. Зайцев В.М., Лифляндский В.Г., Маринкин В.И. Прикладная медицинская статистика. – СПб: Фолиант, 2006. – 432 с. [Zajcev V.M., Lifyandskij V.G., Marinkin V.I. *Prikladnaya medicinskaya statistika*. Applied Medical Statistics. – St. Petersburg: Foliant, 2006. – 432 p. (in Russian)]
3. Кроненберг Г.М., Мелмед Ш., Полонски К.С., Ларсен П.Р. Сахарный диабет и нарушения углеводного обмена. Руководство. Эндокринология по Вильямсу. – Москва: Медицина, 2010. – 448 с. [Kronenberg G.M., Melmed S., Polonsky K.S., Larsen P.R. *Saharnyj diabet i narushenija uglevodnogo obmena. Rukovodstvo. Jendokrinologija po Vil'jamsu*. Diabetes Mellitus and Carbohydrate Metabolism Disorders. – Moscow: Meditsina, 2010. – 448 p. (in Russian)]
4. Мак Д., Майкл Т. Секреты эндокринологии: пер. с англ. – 4-е изд., испр. и доп. – М.: БИНОМ, 2010. – 548 с. [Mak D., Majkl T. *Sekrety jendokrinologii. 4-e izd. Secrets of endocrinology. 4-th ed.* – Moscow: BINOM, 2010. – 548 p. (in Russian)]
5. Перенос глюкозы через мембрану унипортным транспортом // https://meduniver.com/Medical/genetika/perenos_glukozi_cherez_membranu.html [*Perenos glyukozy` cherez sembranu uniportny`m transportom*. Glucose transfer through the membrane by uniport transport. Available at: https://meduniver.com/Medical/genetika/perenos_glukozi_cherez_membranu.html. (in Russian)]
6. Петри А., Сэбин К., Леонов В.П. Наглядная медицинская статистика. Пер. с англ. / Под ред. В.П. Леонова. – М., 2010. – 169 с. [Petri A., Sebin K., Leonov V.P. *Nagljadnaja medicinskaja statistika*. Visual Medical Statistics. – Moscow; 2010. – 169 s. (in Russian)]
7. Петров С. В. Общая хирургия.– Санкт-Петербург, 1999. – 672 с. [Petrov S. V. *Obshhaya xirurgiya*. General Surgery. – St. Petersburg; 1999. – 672 s. (in Russian)]
8. Физиология эндокринной системы / под ред. Дж. Гриффина и С. Охеды, пер. с англ. – М., 2008. – С. 454-489. [*Fiziologija jendokrinnoj sistemy*. Physiology of the endocrine system. – Moscow, 2008. – P. 454-489. (in Russian)]
9. Эндотелий. Медицинская Энциклопедия // <httpwww.medical-enc.ru26endothelium.shtml> [*E`ndotelij. Medicinskaya E`nciklopediya*. Endothelium. Medical Encyclopedia. <https://medical-enc.ru26endothelium.shtml>. (in Russian)]
10. Consensus Development Conference on Antipsychotic Drugs and Obesity and Diabetes / American Diabetes Association, American Psychiatric Association, American Association of Clinical Endocrinologists, North American Association for the Study of Obesity // *Diabetes Care*. – 2004. – V.27, N2. – P. 596-601
11. Glucose homeostasis / Editor Leszek Szablewski. – InTech, 2014. – 174 p.
12. Pereverzev V.A., Sikorsky A.B., Welcome M.O. et al. Classification of fasting normoglycemia based on regulatory, psychophysiological and clinic-biochemical approaches // *Bulletin of the Smolensk Medical Academy*. – 2018. – V.17, N3. – P. 74-84.

Информация об авторах

Переверзев Владимир Алексеевич – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой нормальной физиологии УО «Белорусский государственный медицинский университет» Минздрава Республики Беларусь. E-mail: Pereverzev2010@mail.ru; PereverzevVA@bsmu.by

Сикорский Анатолий Викторович – кандидат медицинских наук, доцент, ректор УО «Белорусский государственный медицинский университет» Минздрава Республики Беларусь. E-mail: rector@bsmu.by

Блажко Андрей Сергеевич – ассистент кафедры нормальной физиологии УО «Белорусский государственный медицинский университет» Минздрава Республики Беларусь. E-mail: 220270@mail.ru

Евсеев Андрей Викторович – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой нормальной физиологии, заведующий научно-исследовательским центром ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Минздрава России. E-mail: hypoxia@yandex.ru

Никитина Ольга Сергеевна – старший преподаватель кафедры нормальной физиологии УО «Белорусский государственный медицинский университет» Минздрава Республики Беларусь. E-mail: nikitulya@mail.ru

Вэлком Мэнизибэя Осайн – кандидат медицинских наук, заведующий кафедрой физиологии человека НИЛ университета, Абужа/Нигерия. E-mail: menimed1@yahoo.com

Разводовский Юрий Евгеньевич – заведующий отделом проблем регуляции метаболизма государственного предприятия «Институт биохимии биологически активных соединений Национальной академии наук Беларуси», Республика Беларусь. E-mail: razvodovsky@tut.by

Переверзева Елена Вячеславовна – кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры пропедевтики внутренних болезней УО «Белорусский государственный медицинский университет» Минздрава Республики Беларусь. E-mail: ElenaVP2015@mail.ru