РОССИЙСКИЙ ЖУРНАЛ СПОРТИВНОЙ НАУКИ
2022, Т. 1 (1)

RUSSIAN JOURNAL OF SPORTS SCIENCE
2022, Vol. 1 (1)

Дата публикации: 01.04.2022
DOI: 10.51871/2782-6570_2022_01_01_8
УДК 796; 612

Publication date: 01.04.2022
DOI: 10.51871/2782-6570_2022_01_01_8
UDC 796; 612

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ГЛИКЕМИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В ПРАКТИКЕ СПОРТА ПО ДАННЫМ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИРОВАНИЯ ГЛЮКОЗЫ

А.Ю. Хребтова[1], Е.В. Быков[1], А.И. Кузин[2], О.В. Камерер[2]
[1]Уральский государственный университет физической культуры, г. Челябинск, Россия
[2]Институт дополнительного профессионального образования, Южно-Уральский государственный медицинский университет, г. Челябинск, Россия

Аннотация. Инновационный метод непрерывного мониторирования глюкозы в течение длительного промежутка времени на базе экосистемы флеш-мониторирования является более эффективным и точным методом прогнозирования реакции гликемии по сравнению с традиционными методами. В клинической практике такого рода устройства нашли активное применение в управлении и профилактике острых и отдаленных осложнений сахарного диабета 1 и 2 типа. Оценка вариабельности гликемии – важнейшая составляющая гликемического контроля может иметь большой научный и практический интерес в разрезе оценки метаболических стратегий гомеостаза глюкозы в когорте лиц, испытывающих потребность в повышенном потреблении карбогидратов. Спортсмены – группа лиц, традиционно использующая гипергликемические диеты с целью развития показателей скоростной и силовой выносливости на фоне гликолитических нагрузок. Сравнительный анализ параметров вариабельности гликемии у лиц с различным уровнем физической активности по сравнению со здоровыми лицами европеоидной расы выявил достоверное увеличение средних значений экскурсий глюкозы, превышающих по модулю одно стандартное отклонение, в группе спортсменов (U-критерий Манна-Уитни, p=0,022). Исследование показателей непрерывного мониторирования глюкозы с использованием системы флеш-мониторинга гликемии FreeStyle Libre позволило отследить наличие персонализированных гликемических портретов у здоровых добровольцев, отражающих стратегию гомеостаза глюкозы крови в процессе образа жизни с различным уровнем физической активности. Анализ процентного соотношения временных интервалов нахождения в состоянии гипер-, нормо- и гипогликемии у здоровых добровольцев выявил значительные количественные различия. Минимальный интервал времени в диапазоне эугликемии (66%) наблюдается у женщины «неспортсменки» с наименьшим уровнем физической активности. Минимальный интервал времени в гипер- (15%) и гипогликемии (1%) был зафиксирован у действующего спортсмена находящегося в переходном периоде годичного цикла подготовки. Методически обоснованное использование непрерывного мониторирования глюкозы в практике спорта может стать инструментом эффективной оценки мощности и емкости системы гомеостаза глюкозы и персонализированной коррекции гликемического статуса с использованием различных стратегий, модифицирующих образ жизни.
Ключевые слова: непрерывный мониторинг глюкозы, вариабельность гликемии, клинические диапазоны нормогликемии, гомеостаз глюкозы, лица с различными показателями физической активности, гликемический контроль в практике спорта.

METHODOLOGICAL APPROACHES OF GLYCEMIC CONTROL IN SPORTS PRACTICE BASED ON CONTINUOUS GLUCOSE MONITORING DATA

A.Yu. Khrebtova[1], E.V. Bykov[1], A.I. Kuzin[2], O.V. Kamerer[2]
[1]Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, Russia
[2]Advanced Professional Education Institute, South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russia

Annotation. The innovative continuous glucose monitoring method over a long period of time based on the flash monitoring ecosystem is a more effective and accurate method of predicting

the glycemic response compared to traditional methods. In clinical practice, such devices are used actively in acute and long-term complications of type 1 and type 2 diabetes mellitus management and prevention. Assessment of glycemic variability – the most important component of glycemic control – may be of great scientific and practical interest in the context of evaluating metabolic strategies of glucose homeostasis in a group of people who need increased intake of carbohydrates. Athletes are a group of people who traditionally use hyperglycemic diets in order to develop indicators of speed and strength endurance against the background of glycolytic loads. A comparative analysis of glycemic variability parameters in individuals with different levels of physical activity compared with healthy individuals of the Caucasian race revealed a significant increase in the average values of glucose excursions exceeding modulo one standard deviation in the group of athletes (Mann-Whitney U-test, p=0.022). A study of continuous glucose monitoring indicators using the FreeStyle Libre glycemia flash monitoring system made it possible to track the presence of personalized glycemic portraits in healthy volunteers reflecting the strategy of blood glucose homeostasis within a lifestyle with different levels of physical activity. Analysis of the percentage of time intervals of being in a state of hyper-, normo- and hypoglycemia in participants revealed significant quantitative differences. The minimal time interval in the range of euglycemia (66%) was observed in a female “non-athlete” with the lowest level of physical activity. The minimal time interval in hyper- (15%) and hypoglycemia (1%) was recorded in an active athlete, who is in the transition period during a one-year training cycle. Methodically grounded use of continuous glucose monitoring in sports practice can become a tool for effective assessment of the power and capacity of the glucose homeostasis system and personalized correction of glycemic status using various lifestyle-modifying strategies.
Keywords: continuous glucose monitoring, glycemic variability, clinical ranges of normoglycemia, glucose homeostasis, individuals with various indicators of physical activity, glycemic control in sports practice.

Введение. Непрерывный мониторинг глюкозы (НМГ) – один из главных инструментов гликемического контроля, включающий в себя оценку вариабельности уровня глюкозы (ВГ) и времени в диапазонах (ВД) нормо-, гипо- и гипергликемии, используется почти исключительно у больных сахарным диабетом (СД) 1 и 2 типа [1]. В клинической практике непрерывное мониторирование глюкозы используется для оценки качества контроля гликемии, прогноза гипер- и гипогликемии, сосудистых осложнений СД [2-4]. Вариабельность суточных показателей глюкозы крови хорошо изучена в когорте людей с СД 1 и 2 типа, что существенно повысило эффективность сахароснижающей терапии.

В настоящее время отсутствуют общепринятые референсные значения параметров ВД и ВГ у здоровых людей, позволяющие разграничить нормальные (физиологические) и чрезмерные колебания уровня глюкозы. В частности, Всемирная Организация Здравоохранения (ВОЗ) определяет нормальную гликемию как уровень глюкозы натощак менее 6,1 ммоль/л и рекомендует, чтобы уровень глюкозы был ниже 7,8 ммоль/л через 2 часа после перорального теста на толерантность к глюкозе с 75 г глюкозы [5]. Американская диабетическая ассоциация рассматривает лиц с уровнем глюкозы натощак 5,6-6,9 ммоль/л и уровнем глюкозы в крови (ГК) >7,8-11,0 ммоль/л после перорального глюкозотолерантного теста как группу с повышенным риском развития диабета [6]. Однако, как поясняется в рекомендациях ВОЗ, окончательного порога «нормогликемии» не существует. Таким образом, вопрос оценки вариабельности гликемии на базе НМГ у здоровых людей находится в стадии изучения. Исследования гликемии методом НМГ у недиабетиков носят случайный и не системный характер.

Поиск в базах данных PubMed/MEDLINE и Cochrane выявил всего одну публикацию, относящуюся к исследованиям нормальных референсных диапазонов среднего уровня глюкозы методом НМГ у субъектов без диабета в различных

этнических группах [7]. В базе данных Российской научно-электронной библиотеки (https://www.elibrary.ru/) также встречаются только единичные публикации, посвященные изучению вариабельности параметров глюкозы по данным НМГ у лиц с нормальной толерантностью к глюкозе [8].

Малая инвазивность методики суточного НМГ открывает возможности изучения показателей вариабельности глюкозы в различных когортах здоровых людей. Исследования показателей вариабельности глюкозы на базе НМГ у спортсменов представлены в зарубежной литературе одной публикацией. В базе данных отечественной научной литературы публикации по данной проблематике не найдены [9]. Вместе с тем, очевидно, что спортсмены являются наиболее уязвимой группой лиц, испытывающих высокое напряжение метаболических путей углеводного обмена. При этом гликолитические механизмы энергообеспечения и их мощность обеспечивают в значительной степени результативность соревновательной деятельности в видах спорта, требующих максимального проявления скоростной и силовой выносливости. Возможность развития этого механизма энергообеспечения напрямую зависит от факторов, определяющих гомеостаз глюкозы и её доступность в качестве субстрата окисления в процессе мышечной деятельности.

Важно отметить, что спортсменам традиционно рекомендуется потреблять пищу с высоким содержанием углеводов, чтобы обеспечить адекватные запасы гликогена и повысить работоспособность [10-11]. Кроме того, известно, что физические тренировки улучшают чувствительность тканей к инсулину как сразу после тренировки, так и за счет долгосрочных адаптаций механизмов транспорта и метаболизма глюкозы [12]. Однако, известно и то, что напряженные упражнения повышают концентрацию циркулирующих катехоламинов, таких как адреналин и норадреналин, до патологических уровней [13-14], что приводит к гипо-, гиперинсулинемии после интенсивных упражнений [15-16].

Таким образом, выше приведенные данные свидетельствуют о практической значимости оценки гликемического статуса лиц, занимающихся спортом, в течение длительного периода времени.

Цель исследования: оценить возможности существующих методологических подходов контроля гликемии у здоровых лиц с различным уровнем физической активности.

Задачи исследования:

1. Сравнить показатели внутрисуточной и межсуточной вариабельности, частотные и временные характеристики гликемического профиля когорты здоровых добровольцев с группой людей европеоидной расы, не страдающих диабетом 1 и 2 типа.

2. Выявить особенности гликемических «портретов» спортсменов в сравнении с «не спортсменами».

Методы и организация исследования. В исследовании приняло участие четыре здоровых добровольца обоих полов, испытуемые вели обычный образ жизни и не получали адаптированных программ питания. Мужчины-спортсмены «субэлитного» уровня: атлет 1 – частота сердечных сокращений (ЧСС) в покое <60 уд/мин., 2 тренировки в неделю низкой интенсивности, среднее количество шагов в день – 9,5 тыс., атлет 2 – ЧСС в покое <56 уд/мин., переходный период годичного цикла подготовки, 4-5 тренировок в неделю, в среднем 11 тыс. шагов в день. Два здоровых добровольца, не занимающиеся спортом: «неспортсмен» 1 – женщина, ЧСС в покое <62 уд/мин., сидячий образ жизни, по профессии – музыкант, в среднем 4 тыс. шагов в день, «не спортсмен» 2 – юноша, ЧСС в покое <68 уд/мин., активный образ жизни, 3 фитнес тренировки в неделю средней интенсивности, в среднем 12 тыс. шагов в день. Все участники были набраны в соответствии с информированным письменным согласием для исследования оптимального питания лиц, характеризующихся нормальными показателями гликемии. В таблице 1 приведены общие характеристики изученной когорты.

Антропометрические показатели и значение индекса массы тела (ИМТ) получены с помощью биоимпедансометрии на многочастотном анализаторе состава тела Accuniq BC 300 (Accuniq, Южная Корея, 2017).

Таблица 1

Характеристика участников исследования

Участники исследования	атлет 1	атлет 2	«не спортсмен» 1	«не спортсмен» 2
Уровень физической активности (у.е.)	1,9	2,2	1,4	2,1
Возраст (полных лет)	20	20	24	12
Пол (м/ж)	м	м	ж	м
Рост (см)	178	181	164	154
Вес (кг)	61,9	78	74,8	40,7
Индекс массы тела (кг/м^2)	19,5	23,8	27,8	17,2
Окружность живота (см)	67,2	79,9	85,4	60,1
Избранный вид спорта	футбол	футбол	нет	плавание
Ранг спортивного мастерства	1 взрослый	КМС	нет	1 юношеский
Стаж спортивной деятельности (кол-во лет)	13,5	14	0	8

Для определения уровня физической активности (ФА) у каждого участника исследования оценивались параметры образа жизни: уровень профессиональной двигательной активности, среднее количество шагов в день и количество занятий спортом или активным отдыхом в неделю [17]. Для подсчета среднесуточного количества шагов у исследуемых в течение 14 дней было применено кроссплатформенное программное фитнес-приложение для смартфонов «Шагомер, счетчик шагов Здоровье» (Health and Fitness Apps Group, Республика Беларусь, 2021).

Таблица 2

Ключевые показатели гликемического контроля и прогнозирования риска развития долгосрочных осложнений на базе НМГ

1. Количество дней проведения непрерывного мониторирования гликемии	Рекомендовано 14 дней
2. Доля времени (в %), за которое были сканированы данные	≥70 процентов и более за 14 дней
3. Среднее значение уровня глюкозы (ммоль/л)	4,1 - 6,1
4. Индикатор контроля уровня глюкозы (в %)	<6,5
5. Вариабельность глюкозы (в %)	<36
6. Время выше диапазона >13,9 ммоль/л	Уровень 2
7. Время выше диапазона 10,1–13,9 ммоль/л	Уровень 1
8. Время в целевом диапазоне 3,9–10,0 ммоль/л	Диапазон
9. Время ниже диапазона 3,0–3,8 ммоль/л	Уровень 1
10. Время ниже диапазона <3,0 ммоль/л	Уровень 2

Для оценки ВГ у здоровых добровольцев в «естественных» условиях жизни, была применена экосистема FreeStyle Libre (Abbot, США, 2018). Данная технология включает в себя: флэш-датчик, позволяющий в течение 14 дней осуществлять круглосуточный непрерывный мониторинг глюкозы, приложение для смартфонов FreeStyle LibreLink и программное обеспечение LibreView 5 – бесплатная облачная система с веб-интерфейсом. Подход оценки гликемического профиля по 10 ключевым показателям (табл. 2) [18] в настоящее время апробирован и успешно применяется в отношении пациентов, страдающих СД 1 и 2 типа. Данные рекомендации были приняты Международным консенсусом эндокринологов в 2019 году [19].

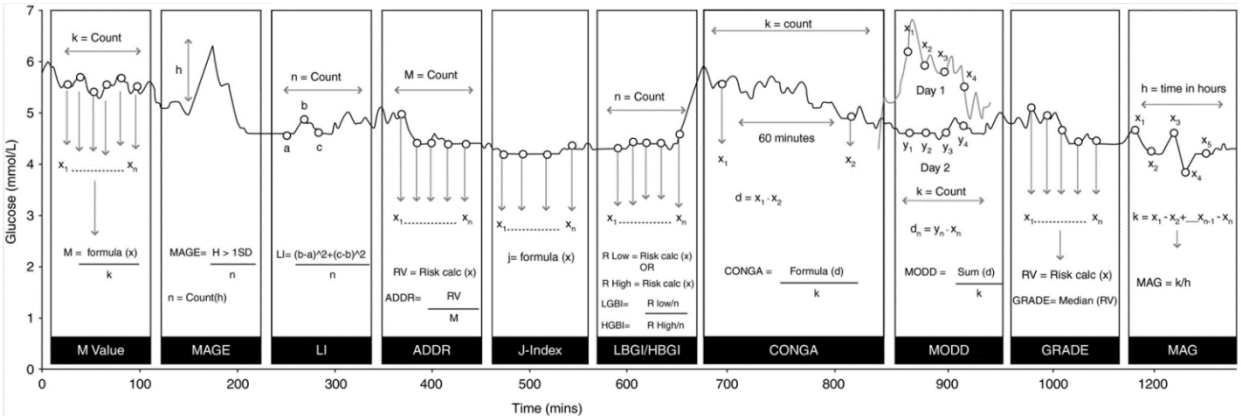

Рис. 1. Математическая модель оценки вариабельности глюкозы в компьютерной программе Easy glycaemic variability (GV)

Примечание: графическая иллюстрация расчётов 10 параметров оценки ВГ на основе данных кривой НМГ в течение 14 дней

Оценка ВГ (размах и частота колебаний, временная структура) осуществлялась на основе «сырых» данных кривой НМГ с помощью программного обеспечения (ПО) EasyGV © version 9.0 (доступна бесплатно для некоммерческого использования на сайте www.easygv.co.uk). В данном исследовании в качестве основных показателей мы рассматривали следующие параметры ВГ: M – среднее значение глюкозы (Mean), SD – стандартное отклонение уровня глюкозы (standart deviation) – степень разброса (дисперсии) значений гликемии, CONGA – индекс непрерывного частично-перекрывающегося изменения гликемии, который представляет собой величину дисперсии разницы значений гликемии (в абсолютных величинах) с интервалом 60 минут в течение всего периода мониторирования (continuous overlapping net glucose index), LI – индекс лабильности гликемии, отражает риск гипогликемических состояний (lability index), индекс J – индикатор качества контроля гликемии (index J), LBGI – индекс риска гипогликемии (low blood glucose index), HBGI – индекс риска гипергликемии (high blood glucose index), индекс MAGE – средняя амплитуда колебаний гликемии, при вычислении игнорируются все колебания с амплитудой меньше 1 SD (mean amplitude of glycemic excursions), индекс MAG – демонстрирует среднюю скорость изменения гликемии и помогает оценить отношение амплитуды колебаний гликемии ко времени (mean absolute glucose), ADRR – коэффициент, определяющий среднесуточный диапазон риска – высокочувствительный инструмент для оценки суммарного риска гипо- и гипергликемии и выявления людей с высокой лабильностью гликемии (average daily risk range), показатель MODD –

различие суточных средних – параметр оценки межсуточных колебаний гликемии (mean of daily differences), GRADE – уравнение оценки гликемического риска СД, строится на основании параметра среднесуточного времени нахождения в диапазонах гипо- и гипергликемии для конкретного испытуемого (glycemic risk assessment diabetes equation). На рисунке 1 представлен алгоритм расчёта параметров ВГ с помощью программного обеспечения EasyGV.

Систематизация исходной информации и визуализация полученных результатов осуществлялись в электронных таблицах Microsoft Office Excel 2016. Статистический анализ проводился с использованием программ STATISTICA 10 (разработчик – StatSoft.Inc), EasyGV, версия 9 (калькулятор разработан исследовательской группой Оксфордского университета (Великобритания), находится в свободном доступе). Значения $p<0,05$ считались статистически значимыми.

Результаты исследования и их обсуждение. Отчет амбулаторного гликемического профиля (АГП) представлен персонально, на каждого участника исследования (рис. 2-5).

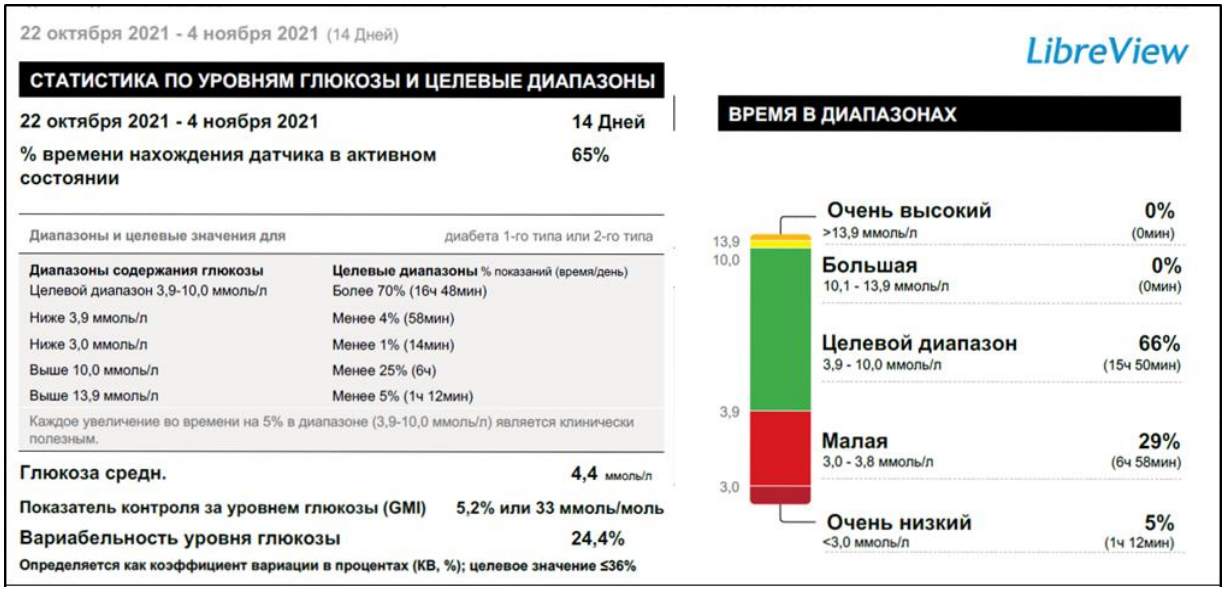

Рис. 2. Отчёт АГП, женщина, не спортсменка, 24 года

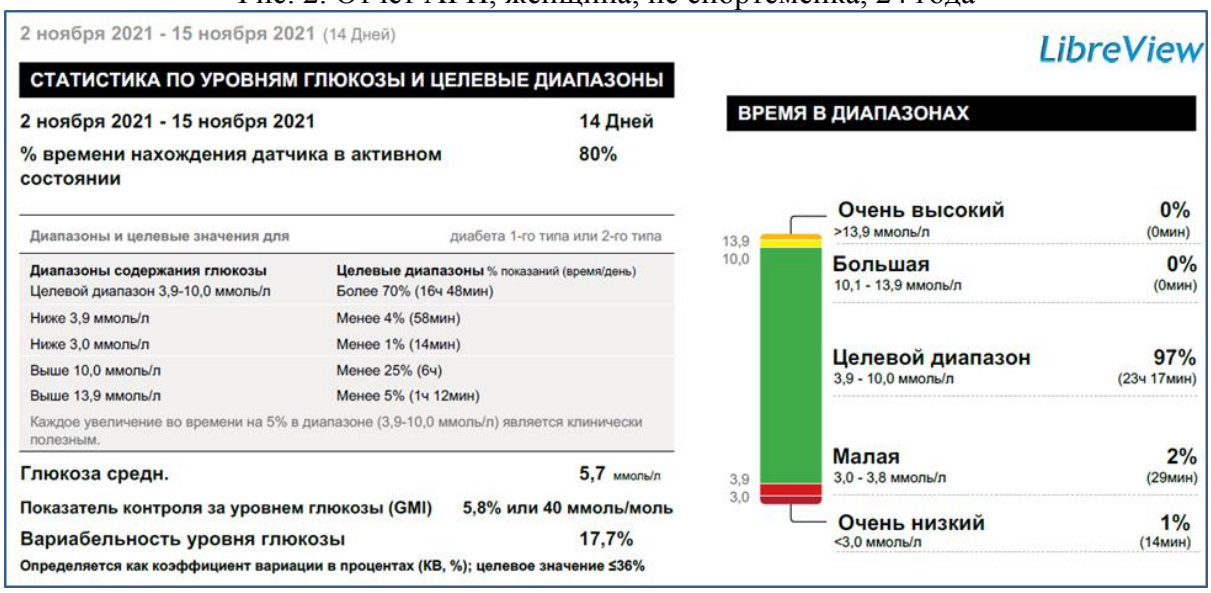

Рис. 3. Отчёт АГП, юноша, не спортсмен, 12 лет

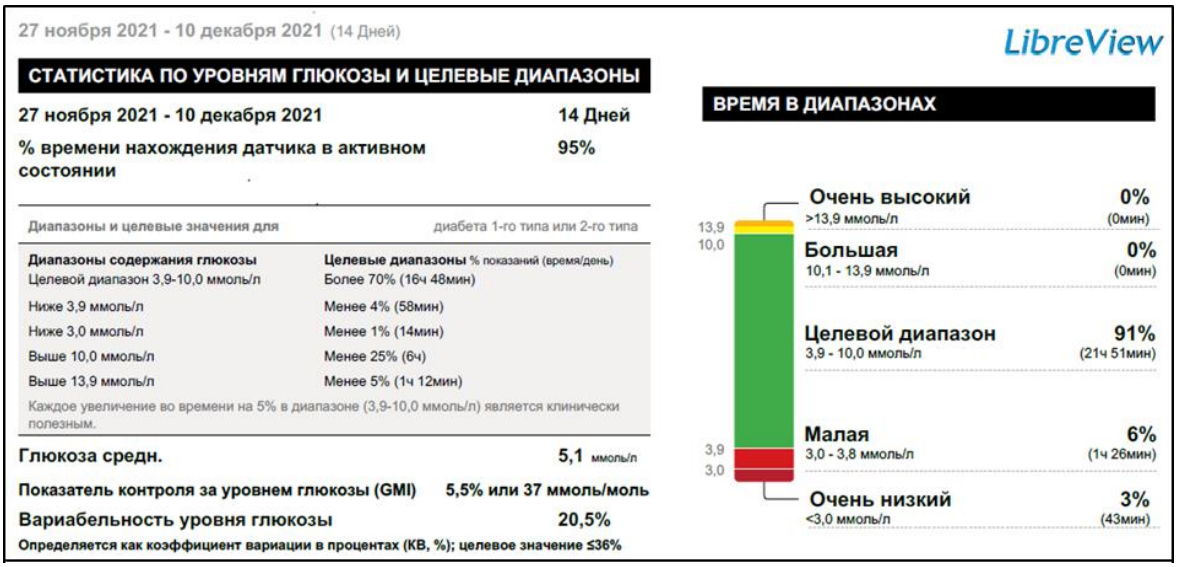

Рис. 4. Отчёт АГП, мужчина, спортсмен (вне тренировочного процесса более 6 месяцев), 20 лет

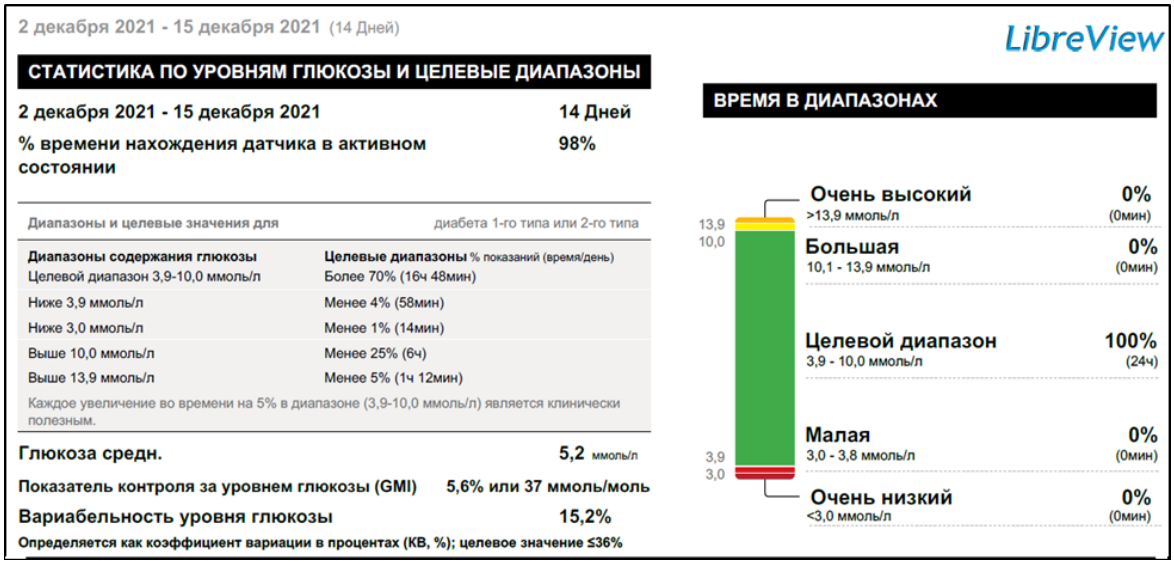

Рис. 5. Отчёт АГП, мужчина, спортсмен (переходный период тренировочного цикла подготовки), 20 лет

В таблице 3 представлен сравнительный анализ гликемического профиля в группе здоровых добровольцев (спортсменов и не спортсменов) по сравнению с рекомендуемыми значениями показателей ВГ для больных сахарным диабетом 1 и 2 типа.

В группе не спортсменов показатель ВЦД меньше целевых значений, время значений глюкозы в диапазоне свыше 10,0 ммоль/л не обнаружено, выявлено среднее значение глюкозы выше референсных значений для детей младше 14 лет (3,3-5,6 ммоль/л), индикатор контроля уровня глюкозы и показатель ВГ находятся в границах целевых диапазонов. Среднесуточное время нахождения в гипогликемии 1 и 2 уровня в группе не спортсменов существенно выше целевых значений протоколов АГП (29% против 4% и 5% против 1%). Таким образом, анализ гликемического профиля в группе здоровых добровольцев указывает на низкие значения вариабельности глюкозы в группе спортсменов и значительно большее время экспозиции в гипогликемии в группе не спортсменов по сравнению с рекомендуемыми значениями протокола АГП.

Таблица 3

Ключевые показатели гликемического контроля в исследуемой когорте здоровых добровольцев в сравнении с целевыми диапазонами гликемии протокола АГП

Показатели контроля гликемии*	Значения протокола АГП	Группа 1 Атлеты	Группа 2 Не спортсмены
1. Доля времени (%), за которое были приняты данные	≥70 и более	95-98	80-100
2. Среднее значение уровня глюкозы, ммоль/л	4,1 - 6,1	5,1-5,2	4,4-5,7
3. Индикатор контроля уровня глюкозы, вероятный уровень гликированного гемоглобина (%)	<6,5	5,5-5,6	5,2-5,8
4. Вариабельность глюкозы (%)	<36	15,2-20,5	17,7-24,4
5. Время выше диапазона >13,9 ммоль/л (мин., %)	<5 (1 ч 12мин)	0	0
6. Время выше диапазона 10,1–13,9 ммоль/л (мин., %)	<25 (6 ч)	0	0
7. Время в целевом диапазоне 3,9–10,0 ммоль/л (мин., %)	>70 (16 ч 48 мин)	91 (21 ч 51 мин) -100% (24 ч)	66 (15ч 50 мин) – 97 (23 ч 17 мин)
8. Время ниже диапазона 3,0–3,8 ммоль/л (мин., %)	<4 (58 мин)	0-6 (1 ч 26 мин)	2 (29 мин.) – 29 (6 ч 58 мин)
9. Время ниже диапазона <3,0 ммоль/л (мин., %)	<1 (14 мин)	0-3 (43 мин.)	1 (14 мин) – 5 (1 ч 12 мин)

Примечание: показатели гликемии в группах представлены минимальным и максимальным значением

Основными преимуществами исследованных параметров оценки ВГ являются простота расчёта и отсутствие специальных требований к частоте и длительности контроля гликемии, а недостатками – ограниченная информативность в оценке ВГ у лиц с нормальной толерантностью к глюкозе. Данные параметры не учитывают частоту, продолжительность и амплитуду колебаний гликемии внутри референсных диапазонов гипо-, гипер- или нормогликемии у здоровых людей с различным уровнем физической активности.

Для персонализированной оценки показателей гомеостаза глюкозы и метаболической гибкости у здоровых людей с различным уровнем физической активности был применен графический метод анализа первичных показателей гликемии, полученных по данным НМГ. Рассчитано процентное соотношение временных интервалов нахождения в состоянии гипер-, нормо- и гипогликемии у всех исследуемых лиц. В качестве референсного диапазона был использован общепризнанный нормальный диапазон глюкозы (от 4,1 до 6,1 ммоль/л), принятый ВОЗ для людей 14-60 лет. На рисунке 6 представлены кумулятивные графики временных интервалов гипер-, нормо- и гипогликемии здоровых добровольцев, отражающих долю случаев показателей глюкозы в процентах за пределами целевого диапазона гликемии (4,0-6,0 ммоль/л).

При изменении целевого диапазона нормогликемии (по сравнению с общепринятым клиническим протоколам АГП), получены следующие результаты: атлет 1 (ФА – 1,9) время нахождения в гипогликемии – 10%, в эугликемии – 72%, в гипергликемии – 18%; атлет 2 (ФА – 2,2) – 1%, 85%, 14%, соответственно; не спортсмен 1, женщина (ФА – 1,4) время нахождения в гипогликемии – 40%, в эугликемии – 52%,

в гипергликемии – 8%; не спортсмен 2 (ФА – 2,1) – 4%, 66% и 30% соответственно. Таким образом, наименьшее время нахождения в диапазоне эугликемии (66%) наблюдается у женщины не спортсменки с наименьшим уровнем физической активности. Наибольшее время нахождения в диапазоне нормогликемии (84%) получено у действующего спортсмена, находящегося в переходном этапе тренировочного цикла подготовки.

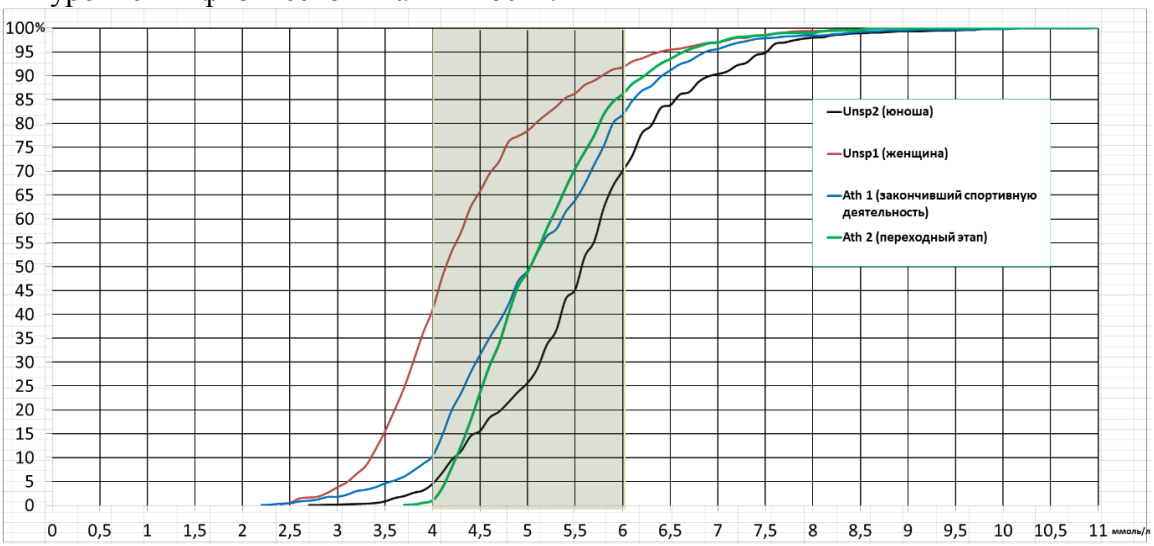

Рис. 6. Кумулятивный график распределения показателей глюкозы измеренных на базе НМГ у 4-х здоровых добровольцев

Примечание: светло-зеленая полоса – референсные значения глюкозы

В клинической практике интегральный подход оценки гликемического риска развития СД 1 и 2 осуществляется по показателям НМГ с использованием среднего значения и относительного процентного вклада в средневзвешенную оценку риска из значений гипогликемического, эугликемического и гипергликемического диапазонов. Показатели гликемического профиля НМГ в клинической практике высокого риска СД соответствуют следующим значениям (гипогликемия %, эугликемия %, гипергликемия %): СД 1 (20%, 8%, 72%), СД 2 (2%, 7%, 91%) [20]. Диапазоны нормо-, гипер- и гипогликемии, полученные в ходе исследования у здоровых добровольцев, существенно отличаются от средневзвешенных оценок высокого риска сахарного диабета, полученных в клинической практике. В настоящее время в клинической практике не достигнут консенсус в отношении показателей нормального уровня глюкозы, вместе с тем, многие исследования продемонстрировали, что увеличение времени пребывания в диапазоне от 4 до 6 ммоль/л приводит к улучшению исходов лечения пациентов [21-22]. Многие исследования также продемонстрировали линейно возрастающие риски осложнений СД связанные с увеличением времени нахождения в диапазоне гипергликемии, независимо от статуса диабета, с нижними пределами нормы между 4 и 6 ммоль/л [5, 22, 23, 24, 25].

Мы сравнили параметры вариабельности гликемии у лиц с различным уровнем ФА методами непараметрической статистики (U-критерий Манна-Уитни для несвязанных групп и Т–критерий Вилкоксона для связанных групп) с нормальными значениями ВГ, полученными группой ученых из Оксфордского центра диабета, эндокринологии и заболеваемости больницы Черчилля (табл. 4) [7]. В качестве референсной группы, нами были выбраны значения показателей гликемической изменчивости у лиц европеоидной расы (44 человека), а также были проанализированы значения ВГ общей популяции лиц, принявших участие в исследовании (70 человек).

Таблица 4

Среднее значение и стандартное отклонение для показателей уровня глюкозы и гликемической изменчивости в когорте лиц европеоидной расы и в общей популяции людей без диабета в сравнении с данными исследования здоровых добровольцев

	Группа/этническая принадлежность				U-критерий Манна-Уитни $p_{(3-1)}$
Индексы вариабельности гликемии	Лица европеоидной расы (M±SD) n=44	Общая популяция (M±SD) n=70	Спортсмены (M±SD) n=2	Не спортсмены (M±SD) n=2	
Номер группы	1	2	3	4	
Возраст (лет)	27,3 (5,8)	27,9 (5,2)	21(0,4)	18 (8,5)	0.284
Средний уровень глюкозы (ммоль/л)	5,0 (0,5)	5,1 (0,5)	5,2 (1,14)	5,0 (1,04)	0,872
Среднее стандартное отклонение (ммоль/л)	1,5 (0,7)	1,5 (0,7)	0,88 (0,05)	0,77 (0,08)	0,319
CONGA* (у.е.)	4,4 (0,6)	4,6 (0,5)	4,6 (1,01)	4,4 (0,93)	0,865
LI*(у.е.)	0,4 (1,9)	0,4 (2,2)	2,0 (0,44)	1,03 (0,22)	0,412
J-Index* (у.е.)	13,7 (4,9)	14,3 (4,7)	13,09 (2,88)	12,08 (2,54)	0,914
LBGI* (у.е.)	3,5 (1,9)	3,1 (1,9)	2,9 (0,64)	4,3 (0,90)	0,764
HBGI*(у.е.)	0,4 (4,2)	0,2 (3,8)	1,0 (0,22)	0,8 (0,17)	0,886
GRADE* (у.е.)	0,4 (2,0)	0,4 (2,1)	0,5 (0,11)	0,6 (0,13)	0,960
MODD*(у.е.)	0,8 (1,3)	0,8 (1,4)	0,8 (0,18)	0,8 (0,17)	0,258
MAGE* (у.е.)	1,4 (0,5)	1,4 (0,7)	2,8 (0,32)	1,5 (0,33)	0,022
ADRR*(у.е.)	0,4 (4,5)	5,5 (4,1)	7,0 (1,54)	2,9 (0,61)	0,165
M-value* (у.е.)	5,5 (4,1)	4,7 (3,8)	4,9 (1,08)	6,8 (1,36)	0,888
MAG* (у.е.)	1,4 (0,3)	1,3 (0,4)	1,4 (0,31)	1,5 (0,32)	0,998

Примечание: непрерывное перекрывающееся время нахождения в гликемическом состоянии (CONGA), индекс лабильности (LI), средняя амплитуда гликемических отклонений (J-Index), индекс риска гипогликемии (LBGI), индекс риска гипергликемии (HBGI), оценка гликемического риска по уравнению диабета (GRADE), среднее значение ежедневных различий средних значений глюкозы (MODD), средняя амплитуда отклонений уровня глюкозы от среднесуточных значений более 1 SD (MAGE), среднесуточный коэффициент риска гипо- и гипергликемии (ADRR), индекс контроля уровня глюкозы крови (M-value), средний абсолютный уровень глюкозы (MAG). Каждый параметр независимо оценивает весь диапазон показателей глюкозы в процессе НМГ в течение 14 дней

У спортсменов среднее значение экскурсий глюкозы, превышающих по модулю одно стандартное отклонение SD (индекс MAGE) статистически достоверно выше (U-критерий Манна-Уитни, p=0,022) (табл. 4) по сравнению со здоровыми лицами европеоидной расы. Индекс MAGE является статистической мерой изменчивости гликемии и в клинической практике используется для оценки качества контроля уровня глюкозы. В исследуемой группе спортсменов наблюдается более выраженная средняя амплитуда колебаний глюкозы по сравнению с нормальными значениями

в европеоидной популяции лиц без диабета. По другим параметрам, оценивающим ВГ, статистически достоверных различий между исследуемыми группами и лицами европеоидной расы не обнаружено.

Заключение. Исследование вариативности физиологических показателей, отражающих динамику адаптации и восстановления резервов организма, широко используется в спортивной, клинической, авиакосмической, профилактической медицине. Методические подходы анализа механизмов управления гомеостазом организма на уровне гуморальной, вегетативной и центральной звеньев регуляции сердечного ритма наиболее глубоко проработаны на базе оценки показателей вариационной пульсометрии (Р.М. Баевский, 1979 г.). Достаточно конкретно прописаны диапазоны вариабельности сердечного ритма и их оценка с помощью спектрального анализа ВСР для различных ситуаций, включая спортивную практику [26]. В настоящее время в спортивной практике отчётливо показано, что снижение вариабельности сердечного ритма на фоне повышения частоты сердечных сокращений означает снижение адаптационного резерва и замедление процессов восстановления на фоне тренировочных нагрузок [27]. Избыточная вариабельность артериального давления в клинической медицине – прогностический неблагоприятный признак в отношении сердечнососудистых осложнений. По сути дела, любой физиологический процесс, участвующий в краткосрочной и долгосрочной адаптации характеризуется синусоидальным ответом, в котором заложена реализация конкретного потенциала с одной стороны, а с другой – способность к его восстановлению. Метаболизм глюкозы – это тот базовый энергетический процесс, который обеспечивает развитие мощности и ёмкости гликолитических механизмов энергообеспечения мышечной деятельности. Первичный анализ гликемических портретов здоровых добровольцев показал индивидуальные особенности метаболических стратегий реализации гомеостаза глюкозы в организме спортсменов и не спортсменов. Вместе с тем, современные существующие методологические подходы нацелены на прогноз развития сахарного диабета и его осложнений в рамках клинического диапазона гликемии. У здоровых людей, спортсменов с высокими резервами гомеостаза глюкозы данные показатели имеют ограниченное значение, поскольку не отражают те возможные резервы и ресурсы, которые формируются в процессе занятий спортом. Остро необходим новый методологический подход определения особого статуса спортсмена с позиции реализации гликемического гомеостаза. Разработка методологических подходов оценки гликемического профиля на базе статистических и геометрических методов анализа частотных и амплитудных показателей НМГ, характеризующих мощность регуляторных систем, обеспечивающих гомеостаз глюкозы и способность к восстановлению на фоне высоких энерготрат, послужила бы высокоинформативным инструментом прогноза эффектов гликолитических нагрузок на углеводный статус и его управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Danne, T. International Consensus on Use of Continuous Glucose Monitoring / T. Danne // Diabetes care. – 2017. – Vol. 40. – № 12. – pp. 1631–1640. DOI: 10.2337/dc17-1600.
2. Климонтов, В. В. Вариабельность гликемии при сахарном диабете / В. В. Климонтов, Н. Е. Мякина. – Новосибирск: Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2016. – 252 с. ISBN: 978-5-4437-0578-1.
3. Климонтов, В. В. Влияние вариабельности гликемии на риск развития сердечно-сосудистых осложнений при сахарном диабете / В. В. Климонтов // Кардиология. – 2018. – Т. 58. – № 10. – С. 80–87. DOI: 10.18087/cardio.2018.10.10152.
4. Monnier, L. Glucose variability and diabetes complications: Risk factor or biomarker? Can we disentangle the "Gordian Knot"? / L. Monnier,

C. Colette, D. Owens // Diabetes Metab. – 2021. – Vol. 47. – № 3. – pp. 1012–1025. DOI: 10.1016/j.diabet.2021.101225.

5. Organization, Definition and Diagnosis of Diabetes Mellitus and Intermediate Hyperglycemia // World Health Organization. Geneva, Switzerland. –2006 – 50 p.

6. American Diabetes Association. Diagnosis and classification of diabetesmellitus. Diabetes Care. – 2010 – № 33 (Suppl. 1). – pp. 62-69. DOI: 10.2337/dc10-S062.

7. Hill, N. R. Normal reference range for mean tissue glucose and glycemic variability derived from continuous glucose monitoring for subjects without diabetes in different ethnic groups / Hill N. R., Oliver N. S., Choudhary P. [et al] // Diabetes Technol. Ther. – 2011. – Vol. 13. – № 9. – pp. 921–928. DOI: 10.1089/dia.2010.0247.

8. Семенова, Ю. Ф. Показатели вариабельности уровня глюкозы и времени нахождения в диапазонах у лиц с нормальной толерантностью к глюкозе по данным непрерывного мониторинга / Ю. Ф. Семенова // Сахарный диабет-2021: от мониторинга к управлению: Матер. IV Рос. междисциплинарной науч.-практ. конф. с междунар. участ., Новосибирск, 26–27 мая 2021 года. – Новосибирск: НИИКЭЛ – филиал ИЦиГ СО РАН, 2021. – С. 153–157.

9. Blood Glucose Levels of Subelite Athletes During 6 Days of Free Living / F. Thomas, C. Pretty, T. Desaive, J. Chase / J. Diabetes Sci. Technol. – 2016. – Vol. 10. – № 6. – pp. 1335–1343. Published 2016 Nov 1. DOI: 10.1177/19322968 16648344.

10.Position of the American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic performance // Journal of the American Dietetic Association. – 2000. – Vol. 100. – № 12. – pp. 1543–1556. DOI: 10.1016/S0002-8223(00)00428-4.

11.Jacobs, K. A. The efficacy of carbohydrate supplementation and chronic high- carbohydrate diets for improving endurance performance / K. A. Jacobs, W. M. Sherman // Int. J. Sport Nutr. – 1999. – Vol. 9. – № 1. – pp. 92–115.

12.Borghouts, L. B. Exercise and insulin sensitivity: a review / L. B. Borghouts, H. A. Keizer // International journal of sports medicine. – 2000. – Vol. 21. – № 1. – pp. 1–12. DOI: 10.1055/s-2000-8847.

13.Суточная динамика содержания адреналина и норадреналина в миокарде желудочков у крыс под влиянием физических нагрузок при изменении условий среды / Джандарова Т. И., Мазевская Ю. С., Скотарева А. А. [и др.] // Актуальные направления фундаментальных и прикладных исследований: Матер. XXVI междунар. науч.-практ. конф., North Charleston, 22–23 июня 2021 года. – Morrisville: Lulu Press, Inc., 2021. – С. 6–9.

14.Bloom, S. R. Differences in the metabolic and hormonal response to exercise between racing cyclists and untrained individuals / S. R. Bloom // The Journal of physiology. – 1976. – Vol. 258. – № 1. – P. 18. DOI: 10.1113/jphysiol.1976.sp011403.

15.Ivy, J. L. Muscle glycogen synthesis after exercise: effect of time of carbohydrate ingestion / J. L. Ivy // Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985). – 1988. – Vol. 64. – № 4. – pp. 1480–1485. DOI: 10.1152/jappl.1988.64.4.1480.

16.Marliss, E. B. Intense exercise has unique effects on both insulin release and its roles in glucoregulation: implications for diabetes / E. B. Marliss, M. Vranic // Diabetes. – 2002. – № 51 (suppl. 1). – pp. 271–283.

17.Black, A. E. Critical evaluation of energy intake using the Goldberg cut-off for energy intake:basal metabolic rate. A practical guide to its calculation, use and limitations" / A. E. Black // International journal of obesity and related metabolic disorders: journal of the International Association for the Study of Obesity. – 2000. – Vol. 24. – № 9. – pp. 1119–1130. DOI: 10.1038/sj.ijo.0801376.

18.Черникова, Н. А. Новые возможности в управлении сахарным диабетом с помощью Flash мониторирования глюкозы / Н. А. Черникова // Эндокринология. Новости. Мнения. Обучение. – 2021. – Т. 10. – № 3(36). – С. 88–94. DOI: 10.33029/2304-9529-2021-10-3-88-94.

19.Clinical targets for continuous glucose monitoring data interpretation: Recommendations from the international consensus on time in range / T. Battelino, T. Danne, R. M. Bergenstal, S. Amiel // Diabetes Care. – 2019. – № 42 (8). – pp. 1593–1603. DOI: https://doi.org/10.2337/dci19-0028.

20.Hill, N. R. Method for assessing quality of control from glucose profiles / N. R. Hill, P. C. Hindmarsh, R. J. Stevens // Diabet Med. – 2007 . – V. 24. – № 7. – pp. 753-758. DOI: 10.1111/j.1464-5491.2007.02119.x.

21.Krinsley, J. S. Effect of an intensive glucose management protocol on the mortality of critically ill adult patients / J. S. Krinsley // Mayo Clinic proceedings. – 2004. – Vol. 79. – № 8. – pp. 992–1000. DOI: 10.4065/79.8.992

22.Van den Berghe, G. Intensive insulin therapy in the critically ill patients / G. Van den Berghe, P. Wouters, W. Weekers // N. Engl. J. Med. – 2001. – № 345(19). – pp. 1359–1367.

23.Levitan, E. B. Is nondiabetic hyperglycemia a risk factor for cardiovascular disease? A meta-analysis of prospective studies / E. B. Levitan // Archives of internal medicine. – 2004. – Vol. 164. – № 19. – pp. 2147–2155. DOI: 10.1001/archinte.164.19.2147.
24.Nishida, T. Oral glucose tolerance test predicts prognosis of patients with liver cirrhosis / T. Nishida, S. Tsuji, M. Tsuji // Am. J. Gastroenterol. – 2006. – Vol. 101. – № 1. – pp. 70–75.
25.Tirosh, A. Normal fasting plasma glucose levels and type 2 diabetes in young men / A. Tirosh, I. Shai, D. Tekes-Manova // N. Engl. J. Med. – 2005. – № 353(14). – pp. 1454–1462.
26.Шлык, Н. И. Оценка качества тренировочного процесса у спортсменов на основе экспресс-анализа вариабельности сердечного ритма с учетом индивидуального типа регуляции / Н. И. Шлык, Е. С. Лебедев, О. С. Вершинина // Теория и практика физической культуры. – 2019. – № 2. – С. 18-20.
27.Коломиец, О. И. Анализ качества восстановления спортсменов на основе Firstbeat-мониторинга (вариабельность сердечного ритма) / О. И. Коломиец, Е. В. Быков, Н. П. Петрушкина // Научно-спортивный вестник Урала и Сибири. – 2019. – № 3(23). – С. 3–13.

REFERENCES

1. Danne T. International Consensus on Use of Continuous Glucose Monitoring. *Diabetes Care*, 2017, vol. 40, no. 12, pp. 1631–1640. DOI: 10.2337/dc17-1600.
2. Klimontov V.V., Myakina N.E. Glycemic variability in diabetes mellitus. Novosibirsk: Novosibirsk National Research State University, 2016. 252 p. (in Russ.)
3. Klimontov V.V. Influence of glycemic variability on the risk of cardiovascular complications in diabetes mellitus. *Cardiology*, 2018, vol. 58, no. 10, pp. 80–87. DOI: 10.18087/cardio.2018.10.10152. (in Russ.)
4. Monnier L., Colette C., Owens D. Glucose variability and diabetes complications: Risk factor or biomarker? Can we disentangle the "Gordian Knot"? *Diabetes Metab*, 2021, vol. 47, no. 3, pp. 1012–1025. DOI: 10.1016/j.diabet.2021.101225.
5. Organization, Definition and Diagnosis of Diabetes Mellitus and Intermediate Hyperglycemia. World Health Organization. Geneva, Switzerland, 2006. 50 p.
6. American Diabetes Association. Diagnosis and classification of diabetesmellitus. *Diabetes Care*, 2010, no. 33 (Suppl. 1), pp. 62–69. DOI: 10.2337/dc10-S062.
7. Hill N.R. Oliver N.S., Choudhary P., J.C Levy, Hindmarsh P., Matthews D.R. Normal reference range for mean tissue glucose and glycemic variability derived from continuous glucose monitoring for subjects without diabetes in different ethnic groups. *Diabetes Technol. Ther.*, 2011, vol. 13, no. 9, pp. 921–928. DOI: 10.1089/dia.2010.0247.
8. Semenova Yu.F. Indicators of glucose level variability and time spent in ranges in individuals with normal glucose tolerance according to the continuous monitoring data. Diabetes mellitus-2021: from monitoring to management: Materials of the IV Russian Interdisciplinary Scientific and Practical Conference with international participation. Novosibirsk, May 26-27, 2021. pp. 153–157. (in Russ.)
9. Thomas F., Pretty C.G., Desaive T., Chase J.G. Blood Glucose Levels of Subelite Athletes During 6 Days of Free Living. *J. Diabetes Sci. Technol*, 2016, vol. 10, no. 6, pp. 1335–1343. DOI: 10.1177/1932296816648344.
10.Position of the American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic performance // *Journal of the American Dietetic Association*, 2000, vol. 100, no. 12, pp. 1543–1556. DOI: 10.1016/S0002-8223(00)00428-4.
11.Jacobs K.A, Sherman W.M. The efficacy of carbohydrate supplementation and chronic high-carbohydrate diets for improving endurance performance. *J. Sport Nutr*, 1999, vol. 9, no. 1, pp. 92–115.
12.Borghouts L.B, Keizer H.A. Exercise and insulin sensitivity: a review. *International journal of sports medicine*, 2000, vol. 21, no. 1, pp. 1–12. DOI: 10.1055/s-2000-8847.
13.Dzhandarova T.I., Mazevskaya Yu.S., Skotareva A.A. et al. Daily dynamics of adrenaline and norepinephrine content in the ventricular myocardium in rats under the influence of physical loads in changing environmental conditions. Current Directions of Fundamental and Applied Research: Materials of the XXVI International Scientific and Practical Conference, North Charleston, June 22-23, 2021. Morrisville: Lulu Press, Inc., 2021. pp. 6–9. (in Russ.)
14.Bloom S.R. Differences in the metabolic and hormonal response to exercise between racing cyclists and untrained individuals. The Journal of physiology, 1976, vol. 258, no. 1, pp. 18. DOI: 10.1113/jphysiol.1976.sp011403.
15.Ivy J.L. Muscle glycogen synthesis after exercise: effect of time of carbohydrate ingestion.

Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985), 1988, vol. 64, no. 4, pp. 1480–1485. DOI: 10.1152/jappl.1988.64.4.1480.

16.Marliss E.B., Vranic M. Intense exercise has unique effects on both insulin release and its roles in glucoregulation: implications for diabetes. *Diabetes*, 2002, no. 51 (suppl. 1), pp. 271–283.

17.Black A.E. Critical evaluation of energy intake using the Goldberg cut-off for energy intake: basal metabolic rate. A practical guide to its calculation, use and limitations. International journal of obesity and related metabolic disorders: journal of the International Association for the Study of Obesity, 2000, vol. 24, no. 9, pp. 1119–1130. DOI: 10.1038/sj.ijo.0801376.

18.Chernikova N.A. New possibilities in diabetes mellitus management using the Flash glucose monitoring. *Endocrinology. News. Opinions. Training*, 2021, vol. 10, no. 3(36), pp. 88–94 DOI: 10.33029/2304-9529-2021-10-3-88-94. (in Russ.)

19.Battelino T., Danne T., Bergenstal R.M., Amiel S.A. Clinical targets for continuous glucose monitoring data interpretation: Recommendations from the international consensus on time in range. *Diabetes Care*, 2019, no. (8), pp. 1593–603. DOI: https://doi.org/10.2337/dci19-0028.

20.Hill N.R., N.R. Hill, Hindmarsh P.C., Stevens R.J. Method for assessing quality of control from glucose profiles. *Diabet Med*, 2007, vol. 24, no. 7, pp. 753–758. DOI: 10.1111/j.1464-5491.2007.02119.x.

21.Krinsley J.S. Effect of an intensive glucose management protocol on the mortality of critically ill adult patients. *Mayo Clinic proceedings*, 2004, vol. 79, no. 8, pp. 992–1000. DOI: 10.4065/79.8.992.

22.Van den Berghe G., Wouters P., Weekers W. Intensive insulin therapy in the critically ill patients. *N. Engl. J. Med*, 2001, no. 345(19), pp. 1359–1367.

23.Levitan E.B. Is nondiabetic hyperglycemia a risk factor for cardiovascular disease? A meta-analysis of prospective studies. Archives of internal medicine, 2004, vol. 164, no. 19, pp. 2147–2155. DOI:10.1001/archinte.164.19.2147.

24.Nishida T., Tsuji S., Tsuji M. Oral glucose tolerance test predicts prognosis of patients with liver cirrhosis. *Am. J. Gastroenterol*, 2006, vol. 101, no. 1, pp. 70–75.

25.Tirosh A. Shai I., Tekes-Manova D. Normal fasting plasma glucose levels and type 2 diabetes in young men. *N. Engl. J. Med*, 2005, no. 353(14), pp. 1454–146

26.Shlyk N.I., Lebedev E.S., Vershinina O.S. Evaluation of the quality of the training process in athletes based on express analysis of heart rate variability taking into account the individual type of regulation. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2019, no. 2, pp. 18–20. (in Russ.)

27.Kolomiets O.I., Bykov E.V., Petrushkina N.P. Analysis of the quality of recovery of athletes based on Firstbeat monitoring (heart rate variability). *Scientific and Sports Bulletin of the Urals and Siberia*, 2019, no. 3(23), pp. 3–13. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Анастасия Юрьевна Хребтова – кандидат биологических наук, доцент кафедры биохимии, Уральский государственный университет физической культуры, Челябинск, e-mail: khrebtova.anastasia@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0013-6317.

Евгений Витальевич Быков – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой спортивной медицины и физической реабилитации, проректор по научно-исследовательской работе, Уральский государственный университет физической культуры, Челябинск, e-mail: bev58@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-7506-8793.

Анатолий Иванович Кузин – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой терапии, клинической фармакологии с курсом эндокринологии и диетологии института дополнительного профессионального образования, Южно-Уральский государственный медицинский университет, Челябинск, e-mail: aikq74@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0962-8980.

Ольга Викторовна Камерер – доцент-кандидат медицинских наук, доцент, кафедры терапии, клинической фармакологии с курсом эндокринологии и диетологии института дополнительного профессионального образования, Южно-Уральский государственный медицинский университет, Челябинск, e-mail: okamerer@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5243-3399.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Anastasia Yur'evna Khrebtova – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Biochemistry Department, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: khrebtova.anastasia@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0013-6317.

Evgenij Vital'evich Bykov – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Research Activity Vice-Rector, South Ural State Medical University, Chelyabinsk, e-mail: aikq74@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0962-8980.
Anatolij Ivanovich Kuzin – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Therapy, Clinical Pharmacology with the course of Endocrinology and Nutrition of the Advanced Professional Education Institute, South Ural State Medical University, Chelyabinsk, e-mail: aikq74@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0962-8980.
Ol'ga Viktorovna Kamerer – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Therapy, Clinical Pharmacology with the course of Endocrinology and Nutrition of the Advanced Professional Education Institute, South Ural State Medical University, Chelyabinsk, e-mail: okamerer@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5243-3399.

Для цитирования: Методологические подходы гликемического контроля в практике спорта по данным непрерывного мониторирования глюкозы / А. Ю. Хребтова, Е. В. Быков, А. И. Кузин, О. В. Камерер // Российский журнал спортивной науки: медицина, физиология, тренировка. – 2022. – Т. 1. – № 1. DOI: 10.51871/2782-6570_2022_01_01_8

For citation: Khrebtova A.Yu., Bykov E.V., Kuzin A.I., Kamerer O.V. Methodological approaches of glycemic control in sports practice based on continuous glucose monitoring data. *Russian Journal of Sports Science: Medicine, Physiology, Training*, 2022, vol. 1, no. 1. DOI: 10.51871/2782-6570_2022_01_01_8