

Гликемический статус дегу (*Octodon degus*) и иглистых мышей (*Acomys cahirinus*) при содержании их в неволе и его влияние на поведение животных

Автор: **Павлова Ольга**, 11 класс
ГБОУ лицей № 299 Фрунзенского района Санкт-Петербурга
Научные руководители: Горелова Ирина Будимировна,
Соколовская Мария Викторовна,
ГБУ ДО ДДЮТ Фрунзенского района Санкт-Петербурга

Введение

Гликемический статус – это показатель уровня глюкозы в крови, который отражает состояние углеводного обмена у животных. Уровень глюкозы имеет большое значение для нормальной жизнедеятельности организма, как человека, так и животных, поскольку глюкоза является основным источником энергии для многих процессов, происходящих в организме.

Изучение проблем влияния повышенной концентрации глюкозы в крови на состояние здоровья животных является одним из направлений современной ветеринарии (Торранс, Муни, 2006). Сахарный диабет сравнительно часто диагностируют у домашних животных разных видов. Показатели гликемического статуса в норме и при патологии сравнительно хорошо изучены у кошек и собак. Для этих видов разработаны подходы к диагностике сахарного диабета и методы лечения этого заболевания (Кирк, Бонагура, 2005). Однако данным заболеванием страдают и другие животные, которых содержат в качестве домашних любимцев, в том числе – различные грызуны. Так, сахарный диабет был выявлен британскими ветеринарами в числе основных болезней, диагностированных у дегу (Brown, Donnelly, 2012).

Одним из важных аспектов изучения гликемического статуса является определение факторов, с которыми он может быть связан или которые могут оказывать на него влияние. В этом контексте особую значимость приобретает изучение влияния различных условий содержания на гликемический статус животных, содержащихся в неволе.

Актуальность данной работы заключается в необходимости изучения влияния различных факторов на здоровье животных, содержащихся в неволе, для обеспечения их благополучия и высокой продолжительности жизни. Определение факторов, влияющих на гликемический статус, позволит разработать рекомендации по оптимальному содержанию и питанию животных, что окажет положительное влияние на их здоровье в целом.

Цель нашей работы: определить, как связан гликемический статус двух видов грызунов (дегу и иглистых мышей) с различными факторами и какое влияние он оказывает на поведение животных.

В задачи исследования входило:

1. Сравнить концентрацию глюкозы в крови у дегу и иглистых мышей при использовании разных вариантов рационов.
2. Сравнить концентрацию глюкозы в крови животных разного пола.
3. Сравнить концентрацию глюкозы в крови иглистых мышей разного возраста.
4. Сопоставить гликемический статус дегу и уровень их тревожности (стрессированности) в тесте «открытое поле».
5. Сопоставить гликемический статус дегу и уровень их двигательной и исследовательской активности в тесте «открытое поле».

Обзор литературы

Глюкоза – это простой сахар, который играет ключевую роль в обмене веществ всех живых организмов. Она является основным источником энергии для большинства клеток организма, включая клетки мозга и мышцы. Необходима она для поддержания нормального уровня энергии и функционирования организма. В организме клетки используют глюкозу для получения энергии путем ее окисления. Этот процесс называется гликолизом и происходит в цитоплазме клеток. Процесс расщепления глюкозы до пирувата с выделением энергии происходит во всех клетках организма и является основным источником энергии для мышц и мозга (Дистергова, 2017).

Процесс гликолиза начинается с того, что глюкоза попадает в клетку с помощью специального белка-переносчика. В цитоплазме клетки глюкоза подвергается фосфорилированию, то есть присоединяет к себе фосфатную группу. В результате образуется глюкозо-6-фосфат, который подвергается ряду превращений, в результате чего образуются две молекулы пирувата и две молекулы аденозинтрифосфата (АТФ) – основного источника энергии для клетки. Пируват затем поступает в митохондрии, где окисляется до углекислого газа и воды, выделяя дополнительную энергию. Именно поэтому процесс гликолиза является важным источником энергии для организма, а глюкоза – основным топливом для этого процесса. Затем она поступает в кровь, где ее уровень поддерживается на постоянном уровне, благодаря работе гормона инсулина. Инсулин – это гормон, который регулирует уровень глюкозы в крови. Он производится поджелудочной железой и отвечает за перенос глюкозы из крови в клетки, где она используется в качестве источника энергии. Когда уровень глюкозы в крови повышается, это вызывает увеличение выработки инсулина. Инсулин помогает перемещать глюкозу из крови в клетки, где она может быть использована для производства энергии. В результате уровень глюкозы в крови снижается. С другой стороны, когда уровень глюкозы падает, выработка инсулина снижается. Это позволяет глюкозе оставаться в крови и поддерживать ее нормальный уровень (Медведева, 2017).

Глюкоза также играет важную роль в производстве (синтезе) гликогена – резервного источника энергии в организме. Гликоген хранится в печени и мышцах и используется, когда уровень глюкозы в крови падает. Кроме того, глюкоза необходима для работы нервной системы, поскольку мозг использует ее для получения энергии. Мозг составляет всего 2% от массы тела, но использует 20% глюкозы, которая циркулирует в крови. Недостаток глюкозы может привести к усталости, слабости и даже потере сознания. Однако, если уровень глюкозы в крови становится слишком высоким, это может привести к серьезным последствиям, таким как диабет или ожирение (Дедов и др., 2005).

Глюкоза встречается в природе во многих источниках, таких как фрукты, овощи, мед и некоторые виды крахмалов.

Сахарный диабет – одна из самых распространенных болезней, которая оказывает значительное влияние на здоровье людей по всему миру. Это хроническое заболевание, характеризующееся повышенным уровнем сахара в крови, известным как гипергликемия (Дистергова, 2017). В мире им болеет около 463 миллионов человек, и этот показатель продолжает увеличиваться из года в год. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) к 2040 году это число возрастет до 642 миллионов (Танирбергенова и др., 2017).

Общепринято разделять сахарный диабет на два основных типа (Дедов и др., 2005). Диабет 1-го типа является хроническим аутоиммунным заболеванием, при котором иммунная система организма атакует и разрушает клетки поджелудочной железы, производящие инсулин – гормон, необходимый для преобразования сахара в энергию. Так как поджелудочная железа не выпускает достаточное количество инсулина или не выпускает его вовсе, пациенты с диабетом 1-го типа вынуждены принимать искусственно введенный инсулин для поддержания нормального уровня сахара в крови. Активное вмешательство со стороны врачей и постоянный контроль позволяют пациентам справляться с этим типом диабета, эта поддержка и подходящая терапия играют решающую роль (Медведева, 2017).

Диабет 2-го типа, с другой стороны, развивается в результате недостаточной продукции инсулина или неэффективного использования организмом имеющегося инсулина. Этот тип диабета часто наблюдается у людей с избыточным весом, низким уровнем физической активности и неправильным питанием. Лечение данной формы диабета включает следование специальной диете, физическую активность, при необходимости пероральный прием препаратов для снижения уровня сахара в крови и в некоторых случаях введение инсулина. Эпидемиологические исследования свидетельствуют о резком увеличении количества случаев сахарного диабета 2 типа, чаще всего в странах с высоким уровнем жизни и существенной долей денежных доходов (Дедов и др., 2005).

Симптомы сахарного диабета могут варьироваться от упорной жажды, сильной утомляемости и постоянной потребности в частых посещениях туалета до озноба, потери веса и медленного заживления ран (Дистергова, 2017).

Причинами сахарного диабета являются различные факторы, включая генетическую предрасположенность, ожирение, неправильное питание, малую физическую активность, стрессы и другие (Дедов и др., 2005). Эта болезнь влияет на нормальное функционирование поджелудочной железы и вызывает недостаток инсулина – гормона, отвечающего за усвоение глюкозы клетками. В результате этого глюкоза накапливается в крови, чему способствует ее недостаточная переработка организмом. Сахарный диабет имеет серьезные последствия для здоровья. При длительном неуправляемом течении он может привести к осложнениям, таким как заболевания сердца и сосудов, повреждения почек, слепота, ампутации конечностей и даже к преждевременной смерти. Болезнь требует постоянного мониторинга уровня сахара в крови, приема лекарственных препаратов и введения инсулина (Медведева, 2017).

Проблема повышенной концентрации глюкозы в крови существует не только у человека, но и у животных. В норме концентрация глюкозы в крови у млекопитающих строго регулируется, что отражает компромисс, главным образом, между двумя противоположными гормонами: глюкагоном и инсулином, вырабатываемыми, соответственно, α - и β -клетками островков Лангерганса поджелудочной железы (Торранс, Муни, 2006).

Секвенирование аминокислот показало, что молекула глюкагона грызунов подотряда *Huysticomorpha* (Дикобразовые), включающего в себя преимущественно грызунов Нового Света, в том числе и представителей сем. Восьмизубых, к которому относятся дегу, имеет множество аминокислотных замен, которые, в свою очередь, влияют на ее физиологические характеристики. В частности, биологическая активность глюкагона у морской свинки в 10 раз ниже, чем у грызунов, относящихся к другим подотрядам (Huang et al., 1986). Инсулин, напротив, несмотря на большое разнообразие млекопитающих, является высококонсервативным белком (Huang et al., 1986). Регуляторные свойства инсулина сходны у подавляющего большинства представителей отряда *Rodentia*, однако, как и в случае с глюкагоном, инсулин грызунов, входящих в подотряд Дикобразовые, также демонстрирует существенные различия в аминокислотных последовательностях, по сравнению с другими видами млекопитающих (Vajaj et al., 1986).

Первое свидетельство того, что инсулин этой группы имеет необычную структуру, было получено в результате экспериментов, показавших, что морские свинки вырабатывают антитела к бычьему инсулину без проявления гипергликемии (Vajaj et al., 1986). В настоящее время известно, что инсулин у грызунов из подотряда Дикобразовых не инактивируется антителами, продуцируемыми у млекопитающих из других таксонов, в то время как его активность в снижении концентрации глюкозы в крови, по-видимому, составляет всего 1-10% по сравнению с млекопитающими, не являющимися представителями подотряда *Huysticomorpha* (King, Kahn, 1981).

Была выдвинута гипотеза, что, учитывая низкую физиологическую активность инсулина у Дикобразовых, эти грызуны не смогут регулировать концентрацию глюкозы так же жестко, как другие млекопитающие (Orazoetal., 2004). Действительно, у ряда видов южноамериканских грызунов была обнаружена непереносимость пищевого сахара. Одним из

таких видов является обыкновенный дегу. Эти зверьки оказались чрезвычайно восприимчивы к развитию сахарного диабета при регулярном питании кормами, содержащими свободные сахара. Считается, что это связано с эволюционным давлением, возникающим из-за отсутствия свободных сахаров в естественной среде обитания дегу (Edwards, 2009).

Материалы и методы

Исследования проводились в ноябре – декабре 2023 года. В качестве модельных объектов для изучения диапазона гликемического статуса (концентрации глюкозы в крови) у грызунов, содержащихся в неволе, и факторов, оказывающих влияние на данный показатель, были выбраны два вида, относящихся к разным семействам отряда Rodentia: дегу (*Octodon degus*, сем. Octodontidae) и каирские иглистые мыши (*Acomys cahirinus*, сем. Muridae).

Для изучения диапазона значений гликемии нами было исследовано по несколько групп животных каждого вида, в целом содержащихся в сходных условиях (состав групп, размеры и интерьер вольеров, температурный и световой режим, и т.д.), но с использованием разных схем кормления.

Подопытные животные

Уровень глюкозы в крови был определен у дегу из трех групп: из вивария Ленинградского зоопарка (в дальнейшем в тексте работы, в легендах диаграмм и таблицах данная группа называется «виварий»), в живом уголке Клуба Юных натуралистов ДДЮТ Фрунзенского района (в дальнейшем в тексте – «КЮН») и в частной коллекции экзотических животных (в дальнейшем в тексте – «частные» или «частная коллекция»). Половозрастной состав животных из разных групп представлен в табл. 1.

Табл. 1. Половозрастной состав обследованных групп дегу

Группа	Самцы	Самки	Возрастная группа
Виварий	4	5	Взрослые (от 1 года до 4 лет)
КЮН	4	0	Взрослые (от 1 года до 4 лет)
Частные	5	6	Взрослые (от 1 года до 4 лет)
Итого	13	11	

В виварии и в частной коллекции зверьки содержатся группками, состоящими из 1-2 самцов и 2-3 самок, в КЮНе группка состоит из 4 самцов. Также одна самцовая группка, состоящая из 2 самцов, имеется и в частной коллекции. Во всех случаях каждая группа размещается в вольерах (клетках) площадью около 1 м², декорированных корягами и другими приспособлениями для лазанья и домиками. В качестве подстилки используются опилки. Всем дегу 2-4 раза в неделю предоставляется песок для купания. У всех зверьков постоянно имеется доступ к воде.

Во всех учреждениях животных кормят один раз в день, в промежутке от 14:00 до 16:00 часов. Состав кормов, предоставляемых животным из разных групп, а также частота предоставления конкретных разновидностей пищевых продуктов в рамках длительных периодов (неделя, месяц) различается. На основе анкетирования сотрудников, ухаживающих за разными группами животных, мы выделили четыре категории частоты предоставления корма: «крайне редко» (1-2 раза в месяц), «редко» (не чаще 1 раза в неделю), «часто» (3-4 раза в неделю), «постоянно» (практически ежедневно). Спектр предоставляемых кормов и частота их предоставления в разных учреждениях приведены в табл. 2.

Табл. 2. Состав кормов и частота их предоставления дегу в разных учреждениях

Корм	Виварий	КЮН	Частные
Морковь	постоянно	постоянно	постоянно
Огурцы	---	редко	редко
Кабачки	---	часто	часто
Яблоки	постоянно	постоянно	часто
Груши	---	---	часто
Апельсины	---	крайне редко	редко
Бананы	---	---	часто
Виноград	---	---	часто
Корм для шиншилл	постоянно	постоянно	постоянно
Зерновая смесь (овес, кукуруза, подсолнечник)	постоянно	постоянно	постоянно
Каша (овсяная)	---	---	постоянно
Творог	редко	---	---
Ветки	постоянно	редко	крайне редко
Трава (сено)	постоянно	редко	крайне редко

Для изучения диапазона показателей гликемии у иглистых мышей были использованы животные из двух групп: содержащиеся в КЮНе и в частной коллекции. Половозрастной состав грызунов из разных групп приведен в табл. 3. Взрослыми считались животные старше 1 года, подростками – зверьки в возрасте от 1 до 2 месяцев включительно.

Табл. 3. Половозрастной состав обследованных групп иглистых мышей

Группа	Взрослые самцы	Взрослые самки	Подростки самцы	Подростки самки
КЮН	6	9	4	5
Частные	7	8	---	---
Итого	13	17	4	5

Иглистые мыши как в КЮНе, так и в частной коллекции содержатся большими группами, состоящими из нескольких самцов и нескольких самок. Зверьки в КЮНе живут в одной вольере, размерами 120 х 80 х 90 см. В вольере находятся картонные трубки и коробки, деревянные домики, которые животные используют как укрытия. В частной коллекции мыши содержатся двумя группами, каждая из которых занимает вольер размером 100 х 80 х 76 см. Зверькам предоставлено значительное количество коробок и ящиков в качестве убежищ. Для подстилки используются опилки древесных пород. У зверьков из всех групп постоянно имеется доступ к воде. Схемы кормления иглистых мышей в разных учреждениях приведены в табл. 4.

Табл. 4. Состав кормов и частота их предоставления иглистым мышам в разных учреждениях

Корм	Виварий	КЮН	Частные
-------------	----------------	------------	----------------

Морковь	постоянно	постоянно	постоянно
Огурцы	---	редко	редко
Кабачки	---	часто	часто
Яблоки	постоянно	постоянно	часто
Груши	---	крайне редко	часто
Апельсины	---	крайне редко	редко
Бананы	---	крайне редко	часто
Виноград	---	---	часто
Зерновая смесь (овес, кукуруза, подсолнечник)	постоянно	постоянно	постоянно
Каша (овсяная)	постоянно	постоянно	постоянно
Творог	редко	---	---

Световой день в помещениях, где содержатся животные в КЮНе и в частной коллекции, имеет продолжительность 12 часов – с 9:00 до 21:00. В виварии зоопарка световой день составляет 11 часов (с 8:00 до 19:00). Температура воздуха во всех случаях варьирует незначительно, составляя в среднем $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

При проведении исследований животным для индивидуального опознания наносили метки. Дегу метили путем выстригания остевых волос на различных участках туловища, иглистых мышей маркировали, нанося с помощью раствора фуорцина пятна на шерстный покров на разных частях тела и на затылке. Каждому животному был присвоен индивидуальный номер.

Методики исследований

Определение уровня глюкозы в крови

Забор крови для анализов как у дегу, так и у иглистых мышей проводился в утренние часы (с 9:00 до 10:00). Корм животные получали накануне днем (с 14:00 до 16:00), в 21:00 кормушки убрали, таким образом, зверьков тестировали после нескольких часов голодания. Для определения уровня глюкозы в крови зверька фиксировали в руках и делали прокол медицинской иглой по ходу хвостовой вены. К месту укола подносили тестовую полоску, вставленную в глюкометр, который автоматически отбирал необходимый объем крови для анализа (1,5 мкл). Для проведения анализов использовали глюкометр марки «Контур ТС». После взятия крови у одного животного иглу дезинфицировали медицинским спиртом.

Данные по уровню глюкозы заносили в таблицу с указанием порядкового номера зверька, его пола, а также возрастной группы, к которой он относится. Анализы были взяты у всех дегу (24 особи) и иглистых мышей (39 особей), данные по которым приведены в табл. 1 и табл. 3.

Изучение поведения дегу в тесте «открытое поле»

Двигательную и исследовательскую активность, а также уровень стрессированности (тревожности) дегу при попадании на незнакомую территорию изучали в стандартной тестовой ситуации, используя методику «открытое поле» (Буреш и др., 1990). Тестовый манеж изготовлен из листов пластика, что облегчает уборку после каждого проведенного опыта. Размеры манежа составляют 60 x 60 x 60 см. Пол манежа расчерчен на квадраты со стороной 10 см. План тестового манежа представлен на рис. 1.

Продолжительность каждого опыта составляла 3 минуты. Дегу по одному помещали в угол тестового манежа, противоположный от наблюдателя. Все действия дегу в течение тестового времени фиксировали с помощью видеозаписи. В дальнейшем видеозапись анализировали. Учитывали количество квадратов, пересеченных животным при следовании вдоль стен и при выходе в центральную зону манежа (рис. 1), а также элементы исследовательского поведения (ориентировочные стойки с опорой и без опоры на стены манежа) и показатели уровня стрессированности (проявления смещенной активности – короткие чистки, количество оставленных болюсов).

После каждого опыта пол и стены манежа протирали раствором хлоргексидина для устранения запахов.

Опыты проводились только с самцами. В частной коллекции для изучения поведения в «открытом поле» были отобраны зверьки с концентрацией глюкозы в крови выше 7,5 ммоль (5 особей). Из животных, содержащихся в КЮНе и в виварии, в экспериментах были задействованы самцы, у которых данный показатель не превышал 4,5 ммоль (суммарно 6 особей). Для подтверждения стабильности гликемического индекса у отобранных животных спустя неделю после проведения первого анализа повторно определяли уровень глюкозы в крови, существенных отличий не было выявлено. Эксперименты по методике «открытое поле» проводились через три-четыре дня после повторного анализа крови, чтобы избежать влияния стресса при фиксации на поведение животных.

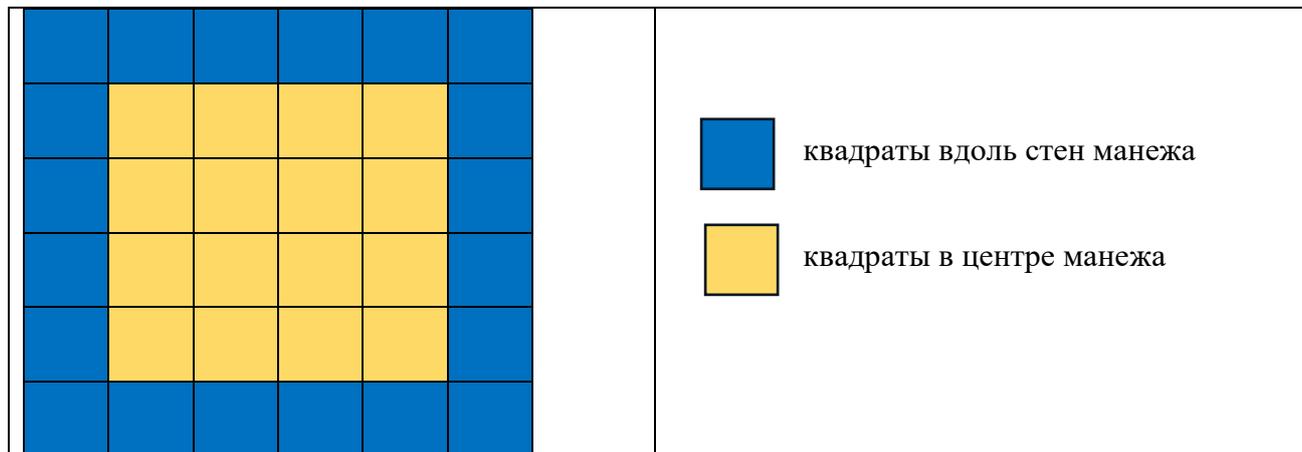


Рис. 1. План тестового манежа «открытое поле».

Статистическая обработка данных

Достоверность различий в уровне глюкозы в крови грызунов из разных групп и у животных разного пола и возраста, а также достоверность различий во встречаемости различных элементов поведения у дегу с разным уровнем глюкозы определяли с помощью критерия Манн-Уитни с использованием опции on-line программ статистической обработки данных на сайте psychol-ok.ru. Выбор данного статистического метода обусловлен тем обстоятельством, что непараметрический критерий Манн-Уитни позволяет выявлять различия при сравнении, в том числе, и малых выборок, количество объектов в которых равно или превышает 3.

Результаты и обсуждение

Несмотря на то, что многие грызуны, прежде всего лабораторные крысы и мыши, постоянно используются в различных экспериментах, в том числе связанных с изучением

влияния гипергликемии на различные аспекты поведения, сведения о гликемическом статусе этих животных в литературе не всегда полностью совпадают. Так, Л.Л. Прагина с соавторами (2005) указывают, что в норме уровень глюкозы в крови лабораторных крыс в проводимых опытах составлял от 2 до 4 ммоль/л. В то же время, по данным М.А. Горячевой и М.Н. Макаровой (2016), после 8-часового и 16-часового голодания этот показатель у крыс в среднем равен $4,3 \pm 0,1$ ммоль/л, что существенно выше. Возможно, различия связаны с особенностями диеты лабораторных животных в разных учреждениях, а также с возрастными и генетическими особенностями животных, использованных в исследованиях.

Дегу являются модельным видом грызунов для изучения механизмов многих заболеваний, в частности – диабета (Brown, Donnelly, 2012). В то же время, данные о нормальном уровне глюкозы в крови представителей данного вида противоречивы. Согласно исследованиям V. Jekl и его соавторов (Jeketal., 2011), проведенным на 35 молодых и 35 взрослых дегу, гликемический статус у зверьков в возрасте до 6 месяцев варьирует от 5,6 до 14,1 ммоль/л., достигая в среднем $9,4 \pm 1,96$, тогда как у половозрелых зверьков эти показатели составляют 5,4-13,1 и $8,8 \pm 1,68$ соответственно. J.C.Оразои его соавторы (Оразоetal.,2004), изучавшие концентрацию глюкозы в крови у неотропических представителей подотряда *Hystricomorpha*, в том числе – у дегу, указывают, что у представителей этого вида концентрация глюкозы в крови после 15 часового голодания не превышает 5,5 ммоль/л.

Как показали результаты наших исследований (рис. 2), уровень сахара в крови после длительного периода голодания может существенно различаться у дегу, содержащихся в разных условиях.

Так, если значимых различий по изучаемому показателю между группами животных, содержащихся в виварии и в живом уголке КЮНа, не выявлено (критерий Манн-Уитни, $p > 0,05$), то у дегу, входящих в группу из частной коллекции, уровень сахара в крови после 12-13 часов голодания был достоверно выше, чем в двух других (критерий Манн-Уитни, $p \leq 0,01$). При этом половых различий ни в одной группе не обнаружено (рис. 3), что позволяет рассматривать данные по группам без учета пола животных.

В первых двух группах, если рассматривать их суммарно, диапазон значений гликемического статуса составил от 2,7 до 6,1 ммоль/л при среднем значении $4,2 \pm 0,9$ (у самок $4,4 \pm 1,0$ ммоль/л, у самцов $4,0 \pm 0,9$). В группе зверьков из частной коллекции показатели концентрации глюкозы варьировали от 6,8 до 9,9 при среднем значении показателя $4,2 \pm 0,9$ (у самок $8,0 \pm 0,7$ ммоль/л, у самцов $8,2 \pm 1,3$).

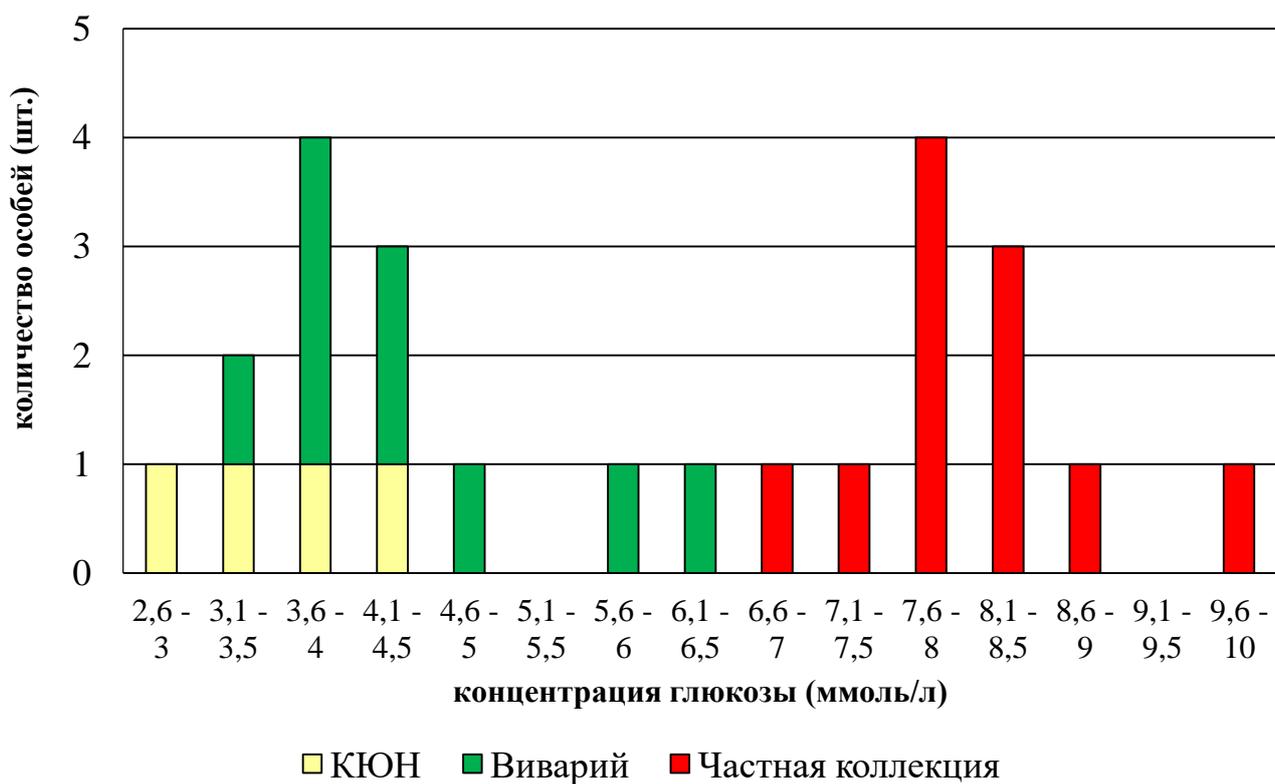


Рис. 2. Количество дегу с разными показателями концентрации глюкозы в крови в различных опытных группах.

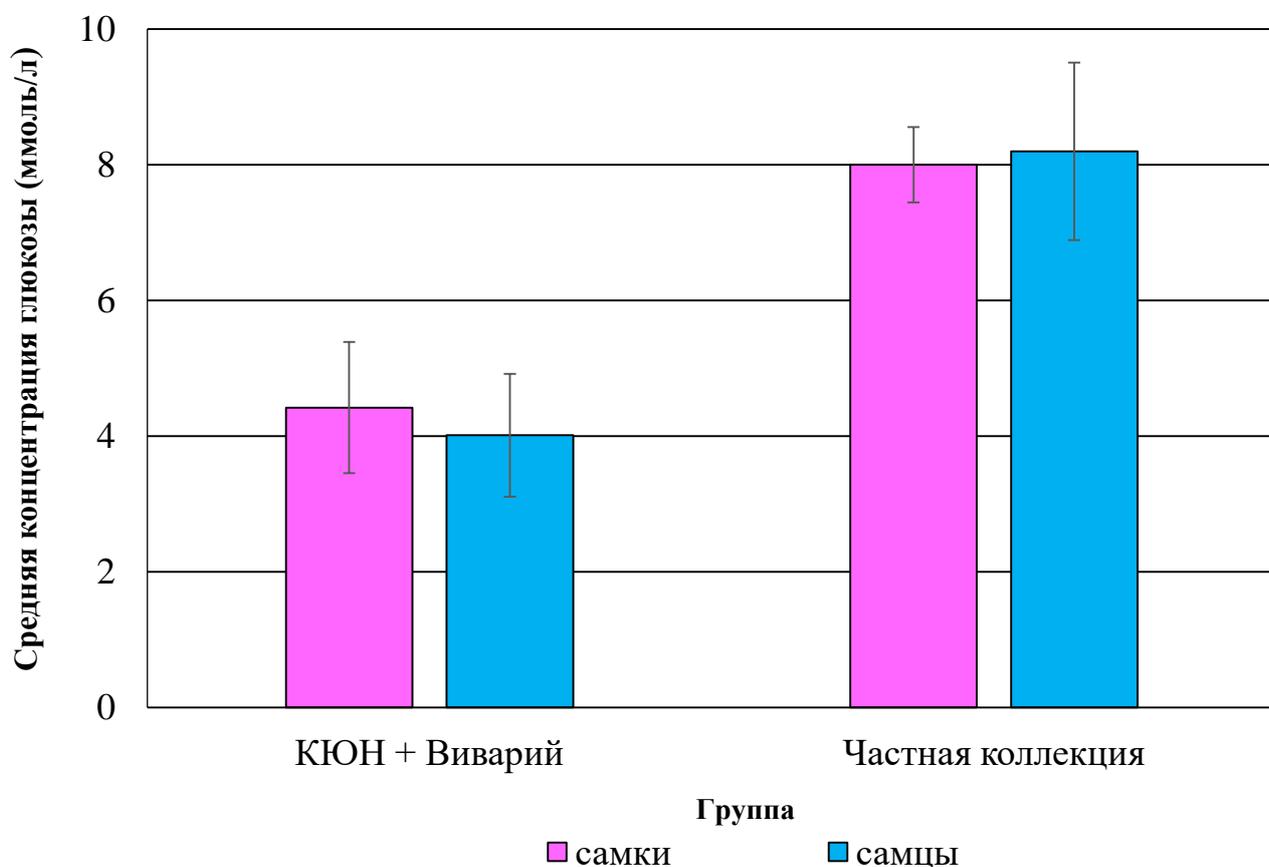


Рис. 3. Средние значения (\pm SD) концентрации глюкозы в крови самцов и самок дегу из разных групп.

Учитывая, что в целом все условия содержания, за исключением рациона, у животных из разных групп были сходными, мы связываем выявленные различия со значительным количеством различных фруктов с высоким гликемическим индексом (бананов, винограда, груш и т.д.) в меню зверьков из частной коллекции и высокой частотой предоставления их грызунам (табл. 2). Сопоставляя полученные нами результаты с данными литературы, можно отметить, что у дегу из групп «КЮН» и «виварий» диапазон концентрации глюкозы в крови оказалась сопоставимой с таковым в работе J.C.Оразо и его соавторов (Оразоetal., 2004), отлавливавших животных непосредственно в естественной среде обитания. В то же время, даже у животных из группы из частной коллекции, у которых в нашем исследовании были выявлены максимальные значения изучаемого показателя, концентрация глюкозы оказалась существенно ниже, чем у зверьков, обследованных чешскими ветеринарами (Jekletal., 2011). Следует отметить, что чешские ученые определяли уровень сахара в плазме крови, тогда как J.C.Оразо и его коллеги (Оразоetal., 2004) и мы – в цельной крови. Известно, что в плазме данный показатель на 11% – 14% выше, чем в цельной крови, однако даже с учетом этого факта различия в гликемическом статусе между животными в разных исследованиях представляются значительными. Учитывая, что в рацион дегу, обследованных V. Jekl и его соавторами, входили только коммерческий гранулированный корм для дегу, зерновая смесь, гранулы из люцерны и сено, можно предположить, что столь высокий уровень сахара в крови обусловлен высоким уровнем стресса животных при взятии крови. Исследователи брали кровь для изучения гематологических и биохимических параметров крови из полости вены черепа, и перед манипуляциями обездвигивали дегу с использованием изофлурана. Возможно, способы фиксации и введение препарата оказались травматичными для животных.

Картина, сходная с таковой у дегу, зафиксирована при сравнении концентрации глюкозы в крови у иглистых мышей из двух групп – из живого уголка КЮНа и из частной коллекции (рис. 4). Исследуемый показатель во второй группе оказался достоверно выше, чем в первой (критерий Манн-Уитни, $p \leq 0,01$). В данном случае достоверных различий между самцами и самками по изучаемому показателю также не выявлено ни в одной из групп (критерий Манн-Уитни, $p > 0,05$) (рис. 5), что позволило рассматривать каждую выборку в целом. В группе иглистых мышей из живого уголка КЮНа, диапазон концентрации глюкозы в крови составил от 3,6 до 6,9 ммоль/л при среднем значении $5,5 \pm 0,8$ (у самок $5,4 \pm 0,9$ ммоль/л, у самцов $5,6 \pm 0,6$). В группе зверьков из частной коллекции показатели концентрации глюкозы варьировали от 6,6 до 10,0 при среднем значении показателя $7,9 \pm 0,9$ (у самок $8,0 \pm 0,8$ ммоль/л, у самцов $7,8 \pm 1,0$). Различия между выборками, очевидно, также как и в ситуации с дегу, связаны с регулярным присутствием в меню зверьков из частной коллекции продуктов с высоким гликемическим индексом (табл. 4).

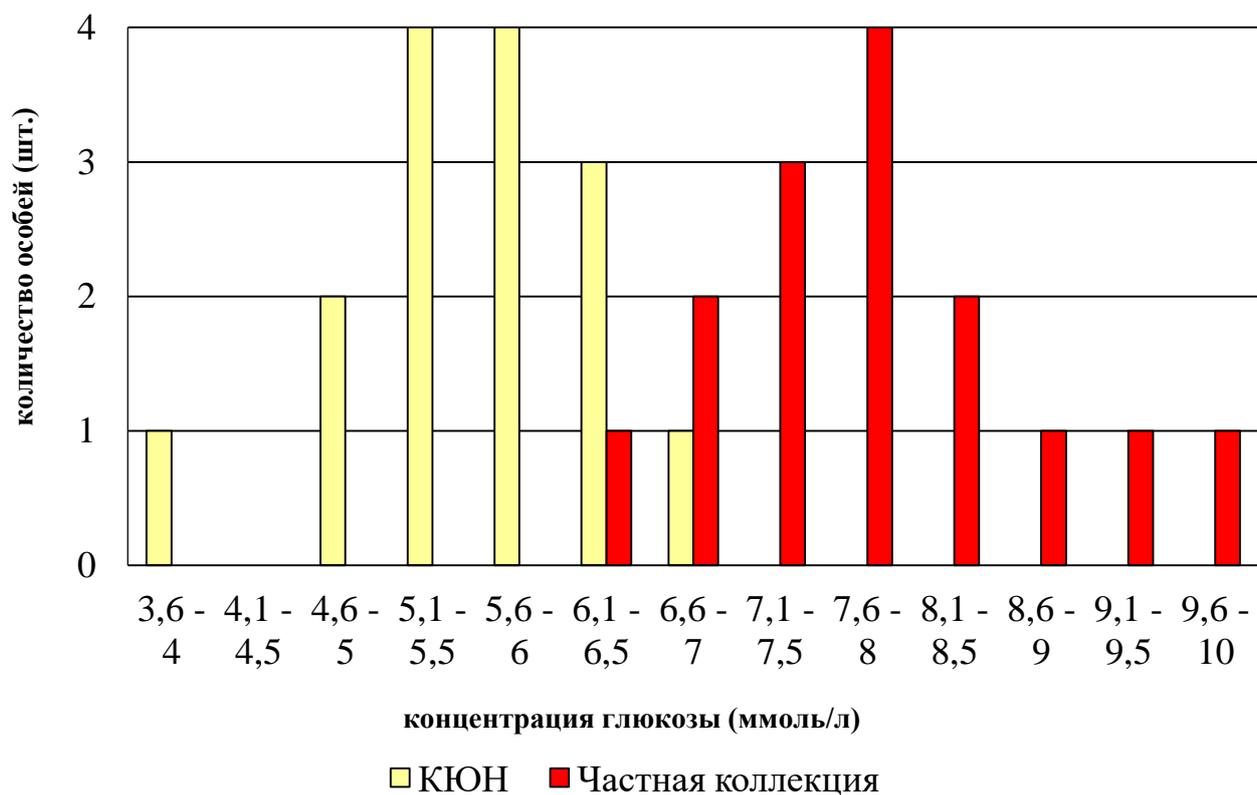


Рис. 4. Количество иглистых мышей с разными показателями концентрации глюкозы в крови в различных опытных группах.

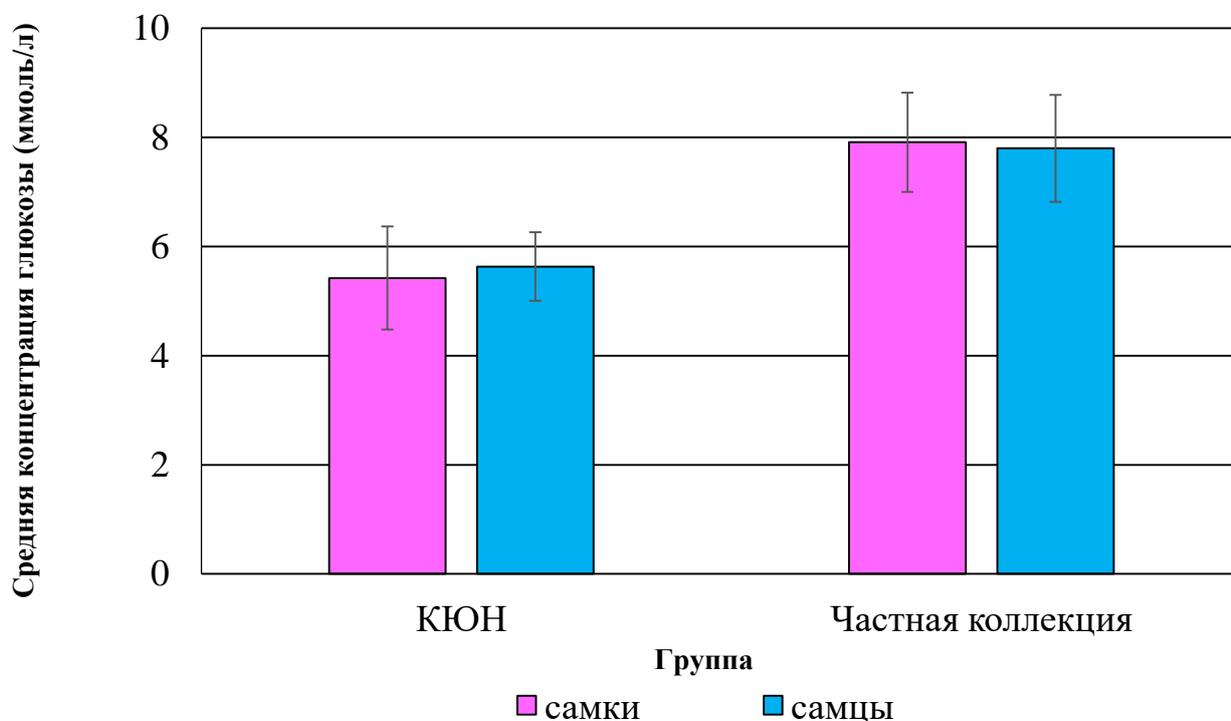


Рис. 5. Средние значения (\pm SD) концентрации глюкозы в крови самцов и самок иглистых мышей из разных групп.

Интересно, что показатели концентрации глюкозы, полученные М.А. Горячевой и М.Н. Макаровой (2016) при обследовании лабораторных мышей ($4,8 \pm 0,2$ ммоль/л и $4,2 \pm 0,4$ ммоль/л после 8-часового и 16-часового голодания соответственно), были несколько ниже, чем у взрослых иглистых мышей из группы КЮНа (в среднем $5,5 \pm 0,8$). Принимая во внимание, что, в отличие от лабораторных животных, иглистые мыши в живом уголке получали существенно более разнообразные корма, различия могут быть связаны с присутствием в рационе *Acomys cahirinus* сладких фруктов, хоть и в незначительном количестве (табл. 4).

Поскольку в группе иглистых мышей были подростки в возрасте 1-2 месяцев, мы сравнили концентрацию глюкозы в крови животных разного возраста. Достоверных различий между подростками и взрослыми особями не выявлено ни у самцов, ни у самок, ни между выборками в целом (критерий Манн-Уитни, для всех вариантов сравнения $p > 0,05$) (рис. 6)

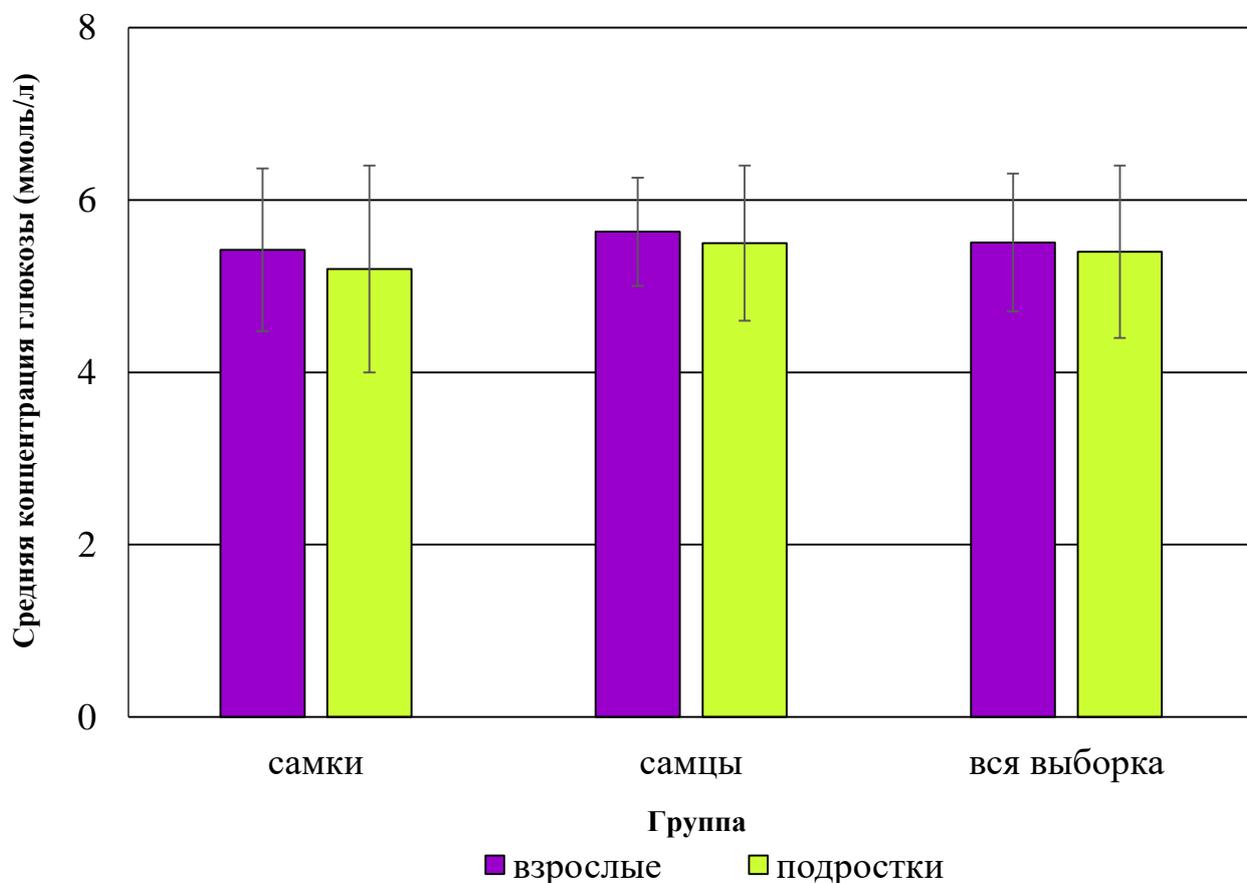


Рис. 6. Средние значения (\pm SD) концентрации глюкозы в крови взрослых иглистых мышей и подростков из группы КЮНа.

На основе полученных данных становится очевидным, что в условиях неволи кормление дегу должно быть максимально приближено к таковому в природе, где зверьки преимущественно питаются травянистыми растениями с незначительным содержанием сахаров (Bozinovic, 1995.). Включение в рацион дегу в домашних условиях фруктов, как можно видеть по результатам наших исследований, закономерно приводит к стабильному повышению концентрации глюкозы и может закончиться развитием диабета и сопутствующих ему заболеваний.

Известно, что экспериментально вызванный диабет у лабораторных крыс существенно влияет не только на физическое состояние, но и на поведение животных. У грызунов после введения свежего 10%-го раствора аллоксангидрата (0,1 мл на 100 г

подкожно) развивалась гипергликемия, концентрация глюкозы в крови достигала значений от 12 ммоль/л до 25 ммоль/л, наблюдалось снижение уровня горизонтальной активности на незнакомой территории и нарушение выработки рефлекса пассивного избегания (Прагина и др., 2005). Сходные результаты получены при экспериментальном диабете, вызванном у крыс другими препаратами, например, стрептозотоцином (60 мг/кг массы тела) (Küçükatayetal., 2007) и аллоксаном в дозе 50 мг/кг массы тела (Küçükatayetal.,2009). По данным авторов, результаты обучения активному избеганию показали, что диабетическое состояние вызывало снижение показателей кратковременной и долговременной памяти.

Мы сравнили поведение самцов дегу из частной коллекции, концентрация глюкозы в крови которых была выше 7,5 ммоль (5 особей), и дегу того же пола из групп КЮНа и вивария, у которых данный показатель не превышал 4,5 ммоль (суммарно 6 особей), на незнакомой территории в тесте «открытое поле». Различия по уровню сахара между этими двумя экспериментальными группами были достоверны (критерий Манн-Уитни, $p \leq 0,01$).

Все зверьки, вне зависимости от показателей концентрации глюкозы, преимущественно перемещались вдоль стен тестового манежа. В обеих группах зарегистрированы существенные индивидуальные различия по таким показателям уровня тревожности (стрессированности), как короткие умывания и количество оставленных в ходе опыта болюсов, а также по встречаемости ориентировочных стоек с опорой и без опоры на стены манежа. В связи с этим достоверных различий в уровне тревожности и исследовательской активности не наблюдается (критерий Манн-Уитни, $p > 0,05$) (рис. 7).

В то же время, количество квадратов, пройденных в ходе тестового времени, у животных с более высоким гликемическим статусом оказалось достоверно ниже (критерий Манн-Уитни, $p \leq 0,05$) (рис. 8). Таким образом, можно заключить, что повышенный уровень сахара в крови у дегу приводит к снижению двигательной активности этих животных.

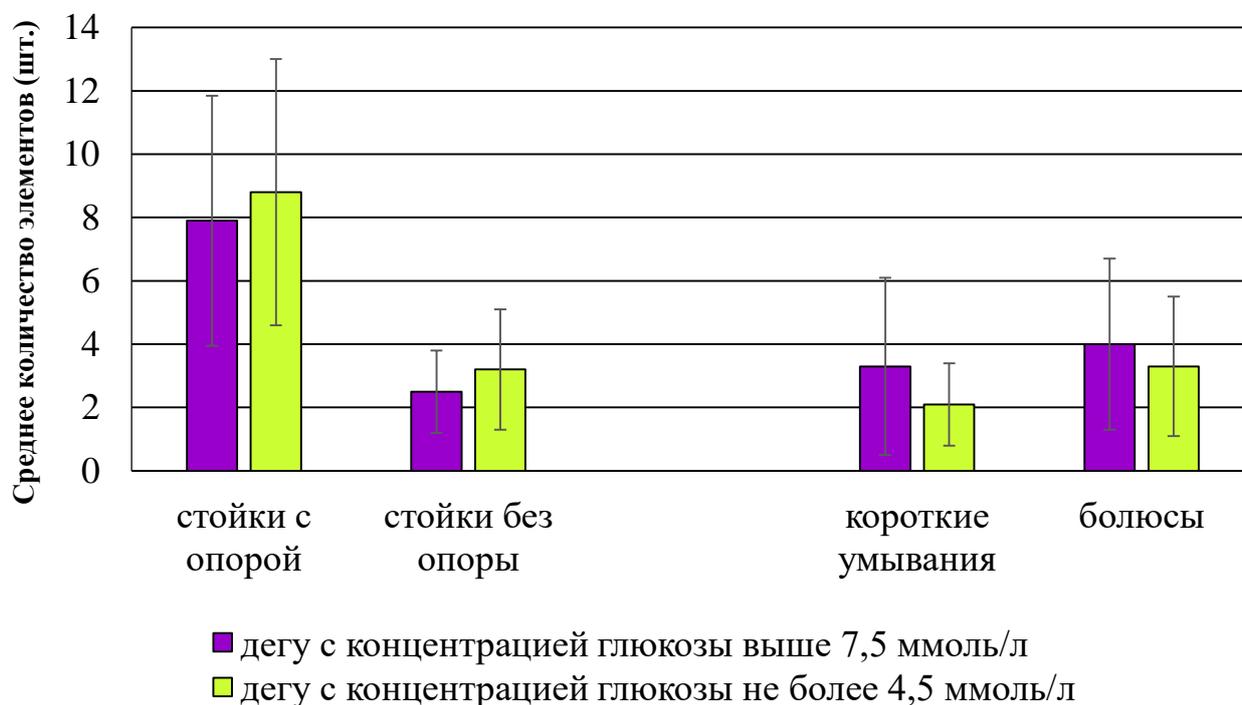


Рис. 7. Среднее количество (\pm SD) элементов исследовательского поведения и показателей тревожности у дегу с высоким (выше 7,5 ммоль/л) и низким (не более 4,5 ммоль/л) уровнем сахара в крови.



Рис. 8. Среднее количество (\pm SD) пройденных в тесте «открытое поле» квадратов у дегу с высоким (выше 7,5 ммоль/л) и низким (не более 4,5 ммоль/л) уровнем сахара в крови.

Выводы

1. У дегу и иглистых мышей при включении в их рацион на регулярной основе фруктов концентрация глюкозы в крови достоверно выше, чем при питании овощами, зерновым кормом и травяными гранулами.
2. Достоверных различий в концентрации глюкозы в крови между самцами и самками как дегу, так и иглистых мышей, не выявлено.
3. Достоверных различий в концентрации глюкозы в крови между подростками и взрослыми особями иглистых мышей не обнаружено.
4. Уровень тревожности (стрессированности) и уровень исследовательской активности в тесте «открытое поле» у дегу с высокой концентрацией глюкозы (более 7,5 ммоль/л) и низкими значениями данного показателя (менее 4,5 ммоль/л) не имеет достоверных отличий.
5. Уровень двигательной активности в тесте «открытое поле» у дегу с высокой концентрацией глюкозы (более 7,5 ммоль/л) достоверно ниже, чем у зверьков с низкой концентрацией глюкозы (менее 4,5 ммоль/л).

Список использованной литературы

1. Буреш Я., Бурешева О., Хьюстон Д.П. Методика и основные эксперименты по изучению мозга и поведения – М.: Мир, 1990. – 348 с.
2. Горячева М.А., Макарова М.Н. Особенности проведения глюкозотолерантного теста у мелких лабораторных грызунов (мыши и крысы). // Международный вестник ветеринарии. – 2016. – № 3. – с. 155-159.
3. Дедов И.И., Суркова Е.В., Майоров А.Ю. Сахарный диабет второго типа: книга для пациентов – М.: Мин-во здравоохранения, 2005. – 114 с.
4. Дистергова О.В. Руководство по лечению сахарного диабета: учебно-методическое пособие. – Омск, 2017. – 355 с.
5. Кирк Р., Бонагура Д. Современный курс ветеринарной медицины. – М.: Аквариум-Принт, 2005. – 1370 с.
6. Медведева О.С. Сахарный диабет, клиника, диагностика, поздние осложнения, лечение: учеб. метод. пособие. – М.: Мед. практика, 2017. – 109 с.
7. Прагина Л.Л., Тушмалова Н.А., Назаренко О.А., Штрыгаль С.Ю., Воеводина Е.Б., Целкова Н.В. Влияние гипергликемии на поведение крыс в открытом поле и на условный рефлекс пассивного избегания // Вестник Московского университета. Серия 16. Биология. – 2005. – № 2. – с. 3-7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-giperqlikemie-na-povedenie-krys-v-otkrytom-pole-i-na-uslovnyy-refleks-passivnogo-izbeganiya> (дата обращения: 10.01.2024).
8. Танирбергенова А.А., Тулебаев К.А., Аканов Ж.А. Распространение сахарного диабета в современном мире // Вестник КазНМУ. – 2017. – № 2. – с. 376-378. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rasprostranenie-saharnogo-diabeta-v-sovremennom-mire> (дата обращения: 10.01.2024).
9. Торранс Э.Д., Муни К.Т. Руководство по эндокринологии мелких домашних животных. – М.: Аквариум-Принт, 2006. - 312 с.
10. Bajaj M., Blundell T.L., Horuk R., Pitts J.E., Wood S.P., Gowan L.K. Coypu insulin. // Biochem. J. – 1986.– vol.238. – p. 345-351 URL: [\(PDF\) Coypu insulin. Primary structure, conformation and biological properties of a hystricomorph rodent insulin \(researchgate.net\)](#) (дата обращения: 23.12.2023)
11. Bozinovic, F. Nutritional energetics and digestive responses of an herbivorous rodent (*Octodon degus*) to different levels of dietary fiber // Journal of Mammalogy. – 1995. – vol. 76 (2). – p. 627-637.
12. Brown C., Donnelly T.M. Disease Problems of Small Rodents // Ferrets, Rabbits, and Rodents – London: DBS., 2012 – p.354-372. URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781416066217000270#s0040> (дата обращения: 8.01.2024).
13. Edwards MS. Nutrition and behavior of degus (*Octodon degus*). // Vet Clin. North Am. Exot. Anim. Pract. –2009.– vol.12(2)– p.237-253. URL:[Nutrition and behavior of degus \(Octodon degus\) - PubMed \(nih.gov\)](#) (дата обращения: 25.12.2023).

14. Huang C.-G., Eng J., Pan Y.-C.E., Hulmes J.D., Yalow R.S., Guinea pig glucagon differs from other mammalian glucagons. // *Diabetes*. – 1986.– vol. 35.– p. 508–512. URL:[Guinea pig glucagon differs from other mammalian glucagons - PubMed \(nih.gov\)](#) (дата обращения: 25.12.2023).
15. Jekl V., Hauptman K., Jeklova E., Knotek Z. Selected haematological and plasma chemistry parameters in juvenile and adult degus (*Octodon degus*) // *The Veterinary record*.–2011. – vol. 169 (3). – p. 167 – 171. [\(PDF\) Selected haematological and plasma chemistry parameters in juvenile and adult degus \(Octodon degus\) \(researchgate.net\)](#)(дата обращения: 27.12.2023).
16. King G.L., Kahn C.R., Non-parallel evolution of metabolic and growth-promoting functions of insulin. // *Nature*. – 1981.– vol.507 – p. 644–646.[Non-parallel evolution of metabolic and growth-promoting functions of insulin | Nature](#)(дата обращения: 27.12.2023).
17. Kucukatay V, Ađar A, Gumuslu S, Yargiđođlu P. Effect of sulfur dioxide on active and passive avoidance in experimental diabetes mellitus: relation to oxidant stress and antioxidant enzymes. // *J. Neurosci*. – 2007. – vol.8 – p.1091-1107. [Effect of sulfur dioxide on active and passive avoidance in experimental diabetes mellitus: relation to oxidant stress and antioxidant enzymes - PubMed \(nih.gov\)](#)(дата обращения: 9.01.2024).
18. Kūđukatay V, Haciođlu G, Ozkaya G, Ađar A, Yargiđođlu P. The effect of diabetes mellitus on active avoidance learning in rats: the role of nitric oxide. // *Med Sci Monit*. – 2009. – vol.15(3). – p.185 – 193.[The effect of diabetes mellitus on active avoidance learning in rats: the role of nitric oxide - PubMed \(nih.gov\)](#)(дата обращения: 26.12.2023).
19. Opazo J.C., Soto-Gamboa M., Bozinovic F. Blood glucose concentration in caviomorph rodents. // *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A: Molecular & Integrative Physiology*. – 2004. – vol.137 (1). – p. 57-64. [\(PDF\) Blood glucose concentration in caviomorph rodents \(researchgate.net\)](#)(дата обращения: 24.12.2023).