



Рис. 2 – УФ-спектр комплекса псорален/СО, рассчитанного с помощью метода  $wB97XD/6-31G^*$

Третья полоса поглощения наблюдается при 270.3 нм с  $f = 0.2408$  и относится к переходу в возбужденное синглетное состояние молекулы ( $S_0 \rightarrow S_{12}$ ). Расчеты показывают, что данное возбужденное состояние описывается волновой функцией, отвечающей наложению четырех конфигураций для одноэлектронных возбуждений (таблица 2, рисунок 3). Возбуждение электрона с (36 $\rightarrow$ 44) дает главный вклад в полосу поглощения при 270.3 нм.

Другие возбужденные состояния исследуемого комплекса имеют очень малую интенсивность ( $f \approx 0$ ). Данные переходы запрещены по симметрии.

В настоящей работе представлены результаты исследования физической сорбции псоралена с СО, используя метод  $wB97XD/6-31G^*$ .

Выявлено, что электронные свойства псоралена чувствительны к адсорбции СО. Заряд атомов исследуемых соединений подвергается изменению при несвязывающем взаимодействии с СО. Установлено, что  $\lambda_{\max}$  псоралена при несвязанном взаимодействии с СО. меняется не значительно.

Результаты свидетельствуют о несвязанном взаимодействии между псораленом и СО. Таким образом, доказано, что псорален может быть использован в разработке отечественных фильтров для очистки воздуха от СО.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Bagayoko D.* Understanding the Relativistic Generalization of Density Functional Theory (DFT) and Completing It in Practice / Bagayoko D // Journal of Modern Physics. – Vol.7. No.9. – 2016 May 26. – P. 4236.
2. Changqing, Y. A Generation Method of Dithering Signal Based on DFT / Changqing Y, Xingzhong X // International Journal of Communications, Network and System Sciences. – Vol.10. – No.8. 2017 August 14. – P. 245–271.
3. *Cheplya, V.* Theoretical model of physisorption effect of CO on coniine and furanocoumarins for air purification / Cheplya V, Shahab S, Murashko M // IX International Scientific Conference for Young Scientists, Graduates, Master and PhD Students “Actual Environmental Problems”: International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University. – 2019 November 21–22. – P. 324–325.
4. *Fidel, L.* Breeding and Analysis of Two New Grapefruit-Like Varieties with Low Furanocoumarin Content / Fidel L, Carmeli-Weissberg M, Yaniv Y, Shaya F, Dai N, Ravch E, Eyal Y, Porat R, Carmi N // Food and Nutrition Sciences. – Vol.7. No.2. – 2016 February 23. – P. 428–439.
5. *Shahab S.* DFT study of physisorption effect of CO and CO<sub>2</sub> on furanocoumarins for air purification / Shahab S, Sheikhi M, Khaleghian M, Kumar R, Murashko M. // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2018. – P. 4784–4796.

### ТИРЕОИДНЫЕ ГОРМОНЫ У КРЫС ПРИ ОЖИРЕНИИ: ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИИ НА СТРЕСС

### THYROID HORMONES IN OBESE RATS: FEATURES OF THE RESPONSE TO STRESS

**Е. Н. Чудиловская<sup>1</sup>, А. А. Басалай<sup>1</sup>, А. С. Мигалевич<sup>1</sup>, В. Д. Свирид<sup>2</sup>, Т. А. Митюкова<sup>1</sup>**  
**E. N. Chudilovskaya<sup>1</sup>, A. A. Basalai<sup>1</sup>, A. S. Migalevitch<sup>1</sup>, V. D. Svirid<sup>2</sup>, T. A. Mityukova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ГНУ Институт физиологии НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,

г. Минск, Республика Беларусь

asvirid@tut.by

<sup>1</sup>Institute of Physiology of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus

Опыты на крысах показали, что кратковременное стрессорное воздействие в виде принудительного плавания вызывает резкий выброс кортизола в кровь, а также достоверное повышение уровня тиреотропного гормона у животных, содержащихся на стандартном рационе вивария (группа контроля). Высококалорийная диета приводит не только к висцеральному ожирению и развитию признаков метаболического синдрома, но также вызывает у крыс достоверное повышение уровней тиреотропного гормона, тироксина и трийодтиронина в сыворотке крови. У животных с ожирением не развиваются некоторые ответные реакции на стресс, характерные для группы контроля.

It was shown in experiments on rats that a short-term stressful effect in the form of forced swimming causes a sharp release of cortisol into the blood, as well as a significant increase in the level of thyroid-stimulating hormone in animals kept on a standard diet (control group). A high-calorie diet leads not only to visceral obesity and the development of signs of metabolic syndrome, but also causes a significant increase in the levels of thyroid-stimulating hormone, thyroxine and triiodothyronine in the blood serum in rats. Obese animals do not develop the stress responses typical of the control group.

*Ключевые слова:* высококалорийная диета, стресс, кортизол, тиреоидные гормоны.

*Keywords:* high calorie diet, stress, cortisol, thyroid hormones.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-1-360-364>

### Введение

В настоящее время ожирение представляет собой одну из важнейших угроз для здоровья населения большинства стран мира. Современные представления о патологических последствиях избыточного питания существенно расширились за последние годы. Появились данные о том, что ожирение предрасполагает не только к сердечно-сосудистой патологии и диабету 2 типа, но также и к нейродегенеративным и психоэмоциональным расстройствам, причем инсулинорезистентность играет ключевую роль, в развитии периферических и центральных метаболических отклонений. Таким образом, нарастает информация, раскрывающая многообразные патогенетические аспекты ожирения, включая центральные механизмы регуляции. Большой интерес представляет вопрос о характере изменений адаптивных механизмов организма на фоне избыточного питания и ожирения. Эта проблема на сегодняшний день остается недостаточно изученной.

Цель работы – изучить влияние кратковременного стрессирующего воздействия на уровень кортизола и гормоны тиреоидного статуса в сыворотке крови у крыс, получавших стандартную диету либо диету с повышенным содержанием жиров и углеводов, приводящую к висцеральному ожирению.

В задачу работы входило изучение биохимических и гормональных характеристики животных в норме и при висцеральном ожирении. Далее проводилось сравнение изучаемых показателей в обеих группах после проведения стрессирующего воздействия.

### Материалы и методы

Экспериментальная работа была проведена на крысах-самцах линии Вистар с соблюдением правил биотехники, общее количество животных 52. Группа контроля (n=21) получала стандартный рацион вивария. Опытная группа (n=31) получала высококалорийный рацион.

Модель высококалорийной диеты (ВКД) на крысах включала добавление к стандартному пищевому рациону вивария 45 % (от суточной калорийности) жиров в виде свиного сала, питьевая вода замещалась на 10% раствор фруктозы со свободным доступом к поилкам. Продолжительность эксперимента составляла 4,5 месяца.

Неинвазивное измерение систолического артериального давления (САД) осуществлялось на компьютеризированной установке PanLab (Испания). Массу тела крыс оценивали на весах SATURN (Китай), а массу висцерального жира – на весах ScoutPro (Китай).

На заключительном этапе эксперимента половина животных группы «Контроль» и группы «ВКД» подвергалась кратковременному стрессу, а другая половина оставалась интактной.

Стрессирующее воздействие выполняли в виде принудительного плавания в цилиндре с водой (t=13°C) в течение 5 мин. Животных выводили из эксперимента через 1 час после стресса с использованием тиопенталового наркоза.

Биохимические показатели сыворотки крови: уровень общего холестерина (ОХ), триглицеридов (ТГ), глюкозы в сыворотке крови определяли ферментативными методами с использованием коммерческих наборов фирмы «Диасенс» (Республика Беларусь) на автоматическом биохимическом анализаторе BS-200 (Китай) с программным обеспечением BS-330. ИФА-методом проводили определение в сыворотке крови уровней общего тироксина (Т4) на наборах «Хема» (Россия), общего трийодтиронина (Т3) и кортизола – на наборах «Диагностические системы» (Россия), тиреотропного гормона (ТТГ) – на наборах FineTest (Китай).

Статистический анализ полученных данных включал непараметрические методы статистики (Statistica 6.0). Результаты выражали в виде медиан и процентилей (Me [25, 75]). Достоверность отличий между группами подтверждали с использованием критерия Манна-Уитни, отличия считали достоверными при P<0,05.

## Результаты и обсуждение

У крыс группы «ВКД» отмечалось достоверное увеличение массы тела, и нарастание массы висцеральной жировой ткани (таблица 1). Причем масса висцеральной жировой ткани увеличивалась, примерно, в 4 раза, а доля висцеральной жировой ткани по отношению к массе тела (%) – в 3,7 раза (таблица 1).

Таким образом, содержание животных на высококалорийной диете приводило к избыточному накоплению у них висцерального жира. У животных, получавших ВКД, отмечалось достоверное повышение САД по сравнению с группой контроля (таблица 1), а также достоверное повышение концентрации триглицеридов и глюкозы в сыворотке крови (таблица 2). Полученные данные свидетельствуют о том, что на фоне высококалорийного питания у животных развиваются признаки экспериментального метаболического синдрома.

Таблица 1 – Масса тела, висцерального жира, соотношение между ними и уровень САД у крыс группы «Контроль» и «ВКД»

Группы крыс	Масса тела, г	Масса висцеральной жировой ткани, г	Процент висцеральной жировой ткани, %	САД, мм. рт. ст
Контроль	361 [356; 395]	5,48 [4,04; 6,28]	1,4 [1,2; 1,7]	132,7 [127,7; 136,7]
ВКД	418 [368; 452] ↑*	22,67 [17,00; 25,18] ↑*	5,2 [4,1; 6,3] ↑*	146,0 [135,7; 152,7] ↑*

\* - достоверные отличия от группы «Контроль».

Далее проводилось сравнение биохимических и гормональных показателей у животных, которые не подвергались стрессирующему воздействию (интактные) и у таковых после стресса. Как видно из данных таблицы 2, кратковременное принудительное плавание не вызывало достоверных сдвигов биохимических показателей крови.

Таблица 2 – Биохимические показатели крови у крыс группы «Контроль» и «ВКД»

Показатель	Контроль		ВКД	
	Интактные	После стресса	Интактные	После стресса
Общий холестерол, ммоль/л	1,50 [1,17; 1,64]	1,53 [1,37; 1,71]	1,64 [1,48; 1,65]	1,65 [1,44; 1,78]
Триглицериды, ммоль/л	0,57 [0,42; 0,7]	0,56 [0,40; 0,62]	0,89 [0,77; 1,13] *#↑	0,98 [0,68; 1,18] *#↑
Глюкоза, ммоль/л	5,2 [4,8; 6,1]	4,4 [3,6; 7,2]	7,1 [6,3; 7,3] *#↑	7,2 [6,7; 7,9] *#↑

\* - достоверные отличия от группы «Контроль, интактные»;

# - достоверные отличия от группы «Контроль. После стресса»;

^ - достоверные отличия от группы «ВКД, интактные».

Определение уровня кортизола в сыворотке крови крыс групп «Контроль, интактные» и «ВКД, интактные» выявило сопоставимые величины (таблица 3). После проведения кратковременного стресса содержание кортизола в крови у крыс контрольной группы достоверно повысилось более чем в 2 раза, тогда как у животных с висцеральным ожирением эта реакция была подавлена, и медиана содержания гормона осталась практически без изменений (таблица 3).

Содержание общего Т4 и Т3 в сыворотке крови крыс группы «ВКД, интактные» было достоверно выше, чем в контроле на 45% и 61% соответственно. Под влиянием стресса уровни этих гормонов практически не изменились ни в группе контроля, ни в группе «ВКД» (таблица 3).

У крыс с висцеральным ожирением содержание ТТГ было достоверно повышено и превышало контрольный уровень практически в 2 раза (таблица 3). После воздействия стресса отмечалось достоверное нарастание гормона в крови, как в группе контроля, так и в группе ВКД. Причем, в группе контроля содержание ТТГ в сыворотке крови увеличивалось в 2 раза, а в группе ВКД — в 1,5 раза (таблица 3).

Следует отметить, что в литературе можно найти большое количество исследований, посвященных изучению влияния стресса различного характера и продолжительности на функцию щитовидной железы [1]. Как отмечается в обзоре Л.И. Надольник [1], этот феномен может быть связан с ростом тиреоидной патологии во многих странах мира, а также с возрастанием напряженности современного образа жизни. Автор приходит к выводу о тесной связи между гипоталамо-гипофиз-адреналовой и гипоталамо-гипофиз-тиреоидной осями, поскольку глюкокортикоиды стимулируют ТТГ-опосредованную активацию функции щитовидной железы.

Вместе с тем, характер реакции тиреоидной системы на стрессорные факторы не поддается однозначной интерпретации, поскольку данные литературы является крайне многообразными и зачастую противоречивыми. Эффекты острого стресса носят многофазный характер, поэтому некоторые авторы отмечают повышенный уровень тиреоидных гормонов в крови на коротких сроках после острого стресса, но другие – не находят таковых сдвигов [1]. В условиях длительного психологического стресса у людей могут наблюдаться признаки гипотиреоза [1]. По данным Е.И. Беляковой, ежедневные одномоментные болевые стресс-воздействия

на крыс приводят через 10–15 секунд к повышению плазменного уровня Т4 и Т3 параллельно с увеличением в крови концентрации ТТГ [2]. При повторяющемся стресс-воздействии выброс периферических гормонов сохраняется на постоянном уровне, а уровень ТТГ при этом стабилизируется [2]. По мнению С.О. Тапбергенова и др. (2019), различные по типу стрессорные факторы высокой степени интенсивности (хирургическая травма, шок, ожог, голодание, физическая нагрузка) могут приводить к снижению секреции тиреоидных гормонов [3]. Однако, учитывая, что «пусковые» влияния ЦНС передаются на щитовидную железу не только через гипофиз, но и через медиаторное звено симпато-адреналовой системы, можно полагать, что стресс, приводящий к выбросу катехоламинов, вызывает активацию гормонообразования и секрецию в кровь тиреоидных гормонов» [3]. Данные Н.А. Корневской и др. [4] свидетельствуют о том, что при хроническом стрессе у крыс в условиях скученного содержания в течение 2 мес., отмечается прогрессирующее снижение общих и свободных фракций Т3 и Т4 и повышение концентрации ТТГ в крови, т.е. тенденция к гипотиреозу [4]. Наряду с этим острый стресс «дефицита времени» стимулирует функцию щитовидной железы с одновременным снижением содержания ТТГ в крови у крыс [5]. Таким образом, многочисленные данные, имеющиеся в литературе о влиянии стресса на функцию щитовидной железы, не поддаются однозначной интерпретации. Следует признать, что последствия продолжительного тяжелого стресса, как правило, выражаются в угнетении и истощении функциональных возможностей щитовидной железы. При этом реакции на кратковременное стрессорное воздействие отличаются большим разнообразием и зависят от силы стресса и временных интервалов, отражающих фазность динамики ответов.

Таблица 3 – Уровень кортизола, тироксина и трийодтиронина в сыворотке крови крыс групп «Контроль» и «ВКД»

Показатель	Контроль		ВКД	
	Интактные	После стресса	Интактные	После стресса
Кортизол, нмоль/л	149,6 [109,0; 313,7]	351,7 [298,8; 392,5]*↑	178,3 [93,1; 318,5] #↓	146,5 [106,4; 225,3] #↓
Т4, нмоль/л	55,5 [47,6; 68,3]	57,5 [47,4; 68,6]	80,8 [70,2; 90,3] *# ↑	75,1 [69,4; 83,8] *# ↑
Т3, нг/мл	0,83 [0,81; 0,95]	0,93 [0,67; 1,07]	1,34 [1,22; 1,57] *# ↑	1,55 [1,41; 1,72] *# ↑
ТТГ, нг/мл	5,97 [4,99; 11,33]	12,16 [8,34; 17,10]*↑	12,37 [10,85; 14,64]*↑	18,31 [14,81; 21,27] *^ ↑

Проведенное нами изучение влияния кратковременного стрессорного воздействия на крыс с нормальной массой тела, содержащихся на стандартном рационе вивария (контрольная группа) выявило резкое повышение уровня кортизола и ТТГ в крови, но при этом значения общих фракций Т3 и Т4 не давали достоверных изменений.

Следует отметить, что в литературе практически отсутствуют сведения о влиянии стресса на тиреоидный статус животных с висцеральным ожирением. Полученные нами данные свидетельствуют о том, что у крыс с ожирением наблюдается достоверное повышение уровней Т4, Т3 и ТТГ в сыворотке крови, что, по-видимому, носит адаптивный характер, направленный на активацию основного обмена при повышении калорийности питания. Однако, у этих животных практически отсутствует ответная реакция коры надпочечников на стресс, поскольку после принудительного плавания уровень кортизола остается неизменным. Следует отметить, что ответная реакция со стороны гипофиза — выброс ТТГ, также менее выражен у крыс с ожирением. Таким образом, висцеральное ожирение, по-видимому, приводит к искажению нормальных адаптивных реакций гормональной системы крыс на стрессорное воздействие.

Заключение. Кратковременное стрессорное воздействие вызывает резкий выброс кортизола в кровь, а также достоверное 2-кратное повышение уровня ТТГ у животных, содержащихся на стандартном рационе вивария (группа контроля). Высококалорийная диета приводит не только к висцеральному ожирению и развитию признаков метаболического синдрома, но также вызывает достоверное повышение уровней ТТГ, тироксина и трийодтиронина в сыворотке крови. При этом отсутствует ответная реакция на стресс со стороны надпочечников и менее выражена реакция выброса ТТГ в кровь на фоне стресса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Надольник, Л. И. Стресс и щитовидная железа / Л. И. Надольник // Биомедицинская химия. – 2010. – Т. 56, вып. 4. – С. 443–456.
2. Белякова, Е. И. Реакция гипоталамо-гипофизарно-тиреоидной системы на острое и прологированное стресс-воздействие / Е. И. Белякова // Успехи современного естествознания. – 2004. – № 8. – С. 33–34.
3. Тапбергенов, С. О., Тапбергенов Т.С., Хан, Н., Советов, Б. С. Функциональные и метаболические эффекты симпато-адреналовой системы и стресс. – Москва: Издательский дом Академии Естествознания. – 2019. – 138 с.

4. Динамика ответной реакции гипофизарно-тиреоидной системы при хроническом стрессовом воздействии у крыс с интактным и измененным тиреоидным статусом / Н. А. Кореневская [и др.] // Вестник ВГМУ. – 2011. – Т. 10, № 4. – С. 21–29.

5. Гусакова, Е. А. Влияние стресса «дефицита времени» на тиреоидный статус и показатели стресс-реакции / Е. А. Гусакова, И. В. Городецкая // Журнал ГГМУ. – 2019. – Т. 17, № 1. – С. 45–48.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕННОСТИ ЗАБОЛЕВАНИЙ  
КОСТНО-МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМЫ И СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ У НАСЕЛЕНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА 2010-2019 ГГ.**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PREVALENCE OF DISEASES  
OF THE BONE-MUSCLE SYSTEM AND CONNECTIVE TISSUE IN THE POPULATION  
OF THE REPUBLIC OF BELARUS AND GOMEL REGION FOR 2010-2019**

***Д. Д. Шафоренко, И. В. Пухтеева***  
***D. Shaforenko, I. Puhteeva***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь  
dianashaforenko25@gmail.com  
Belarusian State University, ISEI BSU  
Minsk, Republic of Belarus*

Проведена оценка показателей, характеризующих особенности формирования здоровья населения в течение длительного периода времени: общая и первичная заболеваемость, инвалидность и смертность детского, трудоспособного и старше трудоспособного возраста населения. Получены данные о том, что в Республике Беларусь и в Гомельской области заболеваемость данной группой болезней имеет тенденцию к росту. Гомельская область входит в тройку областей по данному показателю. Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани занимают одну из лидирующих позиций среди причин инвалидизации населения в Республике и в Гомельской области. Данный показатель имеет тенденцию к росту. Показатель смертности вследствие заболеваний костно-мышечной системы и соединительной ткани в Республике Беларусь и в Гомельской области достаточно мал. Детская смертность отсутствует.

The evaluation of indicators that characterize the features of the formation of population's health over a long period of time such as general and primary morbidity, disability and mortality in children, and the population of older working age. The obtained data indicate that in the Republic of Belarus and in the Gomel region the incidence of the given group of diseases tends to increase. Gomel region is one of the three regions for this indicator. Diseases of the musculoskeletal system and connective tissue occupy one of the leading positions among the causes of disability among the population in the Republic and in the Gomel region. This indicator tends to grow. The mortality rate due to diseases of the musculoskeletal system and connective tissue in the Republic of Belarus and in the Gomel region is quite small. There is no mortality among children.

*Ключевые слова:* болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани, заболеваемость, инвалидность, смертность, социально-экономическая значимость.

*Keywords:* diseases of the musculoskeletal system and connective tissue, morbidity, disability, mortality, socio-economics significance.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-1-364-367>

Заболевания костно-мышечной системы – это патологические изменения в структурах костной системы, сухожилиях, суставах и скелетной мускулатуре, обуславливающие дисфункции организма. Заболевания данной группы поражают лиц всех возрастных групп во всех регионах мира. Хотя распространенность данных заболеваний увеличивается с возрастом, ими страдают и более молодые люди. Самый пик заболеваемости приходится на работоспособный возраст 30–50 лет [1].

Данные заболевания могут быть воспалительного, патологического, опухолевого и другого характера. Чаще всего возникают как самостоятельные заболевания, однако иногда могут возникать на фоне других сопутствующих недугов – как вторичные заболевания [1].

В первом случае болезни данной группы заболеваний могут быть наследственными (внутриутробные аномалии развития закладки органов и систем), аутоиммунными системными заболеваниями опорно-