

REFERENCES

1. Romanenko V.A. Psihofiziologicheskij status studentok: [monografija] / Valerij Romanenko. – Doneck; Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 192 s.
2. Korolev S. A. Obuchenie tehniko-takticheskim dejstvijam v vostochnyh edinoborstvah na osnove smyslovogo proektirovanija i reshenija dvigatel'nyh zadach: uchebnoe posobie / S. A. Korolev, S. N. Minaev. – Tambov: Izd-vo TGU, 2011. – 239 s.
3. Bezrukih M. M. Nejrofiziologicheskie mehanizmy organizacii proizvol'nyh dvizhenij u detej (na modeli pis'ma): dis. ... doktora biol. nauk: 03.00.13 / Bezrukih Mar'jana Mihajlovna. – M., 1994.- 484 s.
4. Merlin V.S. Ocherk teorii temperamenta / Merlin V.S. – M. : Prosveshhenie, 1964. – 304 s.
5. H'el, L.A. Teorii lichnosti: osnovnye polozhenija, issledovanija i primenenie: ucheb. posobie: per. s angl. / L.A. H'ell, D.D. Zigler. – SPb. : Piter; M.; Nizhnij Novgorod; Voronezh: [b.i.], 2003. – 606 s. – (Serija «Mastera psihologii»).
6. Stankov A.G. Individualizacija podgotovki borcov / Stankov A. G., Klimin V.P., Pis'menskij I.A. – M. : FiS, 1984. – 241 s.
7. Rusalov V.M. Novyj variant adaptacii lichnostnogo testa EPI /Vladimir Mihajlovich Rusalov // Psihologicheskij zhurnal. – 1987. – T. 8. – №1. – S. 67-73.
8. Burlachuk L. F. Slovar'-spravochnik po psihodiagnostike / Burlachuk Leonid Fokich. – 3-e izd., pererab. I dop. – SPb. : Piter, 2007. – 686 s. – (Serija «Mastera psihologii»).
9. Hanin Ju. L. Russkij variant shkaly sorevnovatel'noj lichnostnoj trevozhnosti / Jurij L'vovich Hanin // Stress i trevoga v sporte: mezhdunar. sb. nauch. statej. – M. : FiS, 1983. – S. 147-157.
10. Il'in E. P. Differencial'naja psihofiziologija / Evgenij Pavlovich Il'in. – SPb. : Piter, 2001. – 464 s.
11. Il'in E. P. Differencial'naja psihofiziologija fizicheskogo vospitanija i sporta: ucheb. posob. / Evgenij Pavlovich Il'in. – L. : LGPI, 1979. – 84 s.
12. Makarenko M. Stan sensomotornih funkcij v ontogenezi u sportsmeniv ta ne sportsmeniv / [Makarenko M., Lizogub V., Davidova O. i dr.] // Fizichne vihovannja, sport i kul'tura zdorov'ja u suchasnomu suspil'stvi: zb. nauk. pr. Volins'kogo derzhavnogo universitetu. – Luc'k: MEDIA, 1999. – S. 992-1002.
13. Metodicheskoe rukovodstvo po primeneniju psihofiziologicheskikh metodov professional'nogo otbora i adaptacii operativnogo personala jenerGOPredprijatij / Sost. V.A. Maksimovich. – Gorlovka, 1982. – 127 s.
14. Savchin M. P. Trenovanist' boksera ta ii diagnostika: navch. posib. / Miron Petrovich Savchin. – K. : Nora-print, 2003. – 218 s.
15. Min'ko A.A. Statisticheskij analiz v MS Excel / Aleksandr Aleksandrovich Min'ko. – M. : Izdatel'skij dom «Vil'jams», 2004. – 448 s.

УДК 591.05.444:599.323.4

ХАРАКТЕР ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ КАЛОРИГЕННОЙ АДРЕНЕРГИЧЕСКОЙ РЕАКЦИЕЙ И УРОВНЕМ ЦИРКУЛИРУЮЩЕГО СВОБОДНОГО ТРИЙОДТИРОНИНА У БЕЛЫХ КРЫС

Станишевская Т.И., Горная О.И., Аносов И.П.

*Мелитопольский государственный педагогический университет
имени Богдана Хмельницкого,
72312, Украина, Мелитополь, ул. Ленина, 20*

stanisch@ukr.net

На примере калоригенеза при стимуляции адреналином изучалась выраженность адренергических реакций в разных секторах шкалы концентрации трийодтиронина при гипотиреозе, эутиреозе, гипер- и тиреотоксикозе. Экспериментальный трийодтирониновый гипер- и тиреотоксикоз средней степени выраженности усиливает калоригенный эффект адреналина; при тиреотоксикозе тяжелой степени выраженности калоригенный эффект катехоламина постепенно ослабляется,

и при высокой концентрации свободного трийодтиронина полностью исчезает. Состояние экспериментального гипотиреоза уменьшает величину калоригенной адренергической реакции адреналина.

Ключевые слова: калоригенез, адренергическая реакция, гипотиреоз, эутиреоз, гипертиреоз, тиреотоксикоз.

ХАРАКТЕР ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ КАЛОРИГЕННОЮ АДРЕНЕРГІЧНОЮ РЕАКЦІЄЮ ТА РІВНЕМ ЦИРКУЛЮЮЧОГО ВІЛЬНОГО ТРИЙОДТИРАНИНУ В БІЛИХ ЩУРІВ

Станішевська Т.І., Горна О.І., Аносов І.П.

*Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького,
72312, Україна, Мелітополь, вул. Леніна, 20*

stanisch@ukr.net

На прикладі калоригенезу при стимуляції адреналіном вивчалася виразність адренергічних реакцій у різних секторах шкали концентрації трийодтироніну при гіпотиреозі, еутиреозі, гіпер- і тиреотоксикозі. Експериментальний трийодтироніновий гіпер- і тиреотоксикоз середнього ступеня виразності підсилюють калоригенний ефект адреналіну; при тиреотоксикозі важкого ступеня виразності калоригенний ефект катехоламіну поступово послаблюється, і при високій концентрації вільного трийодтироніну повністю зникає. Стан експериментального гіпотиреозу зменшує величину калоригенної адренергічної реакції адреналіну.

Ключові слова: калоригенез, адренергічна реакція, гіпотиреоз, еутиреоз, гіпертиреоз, тиреотоксикоз.

THE NATURE OF THE RELATIONSHIP BETWEEN CALORIEGENE ADRENERGIC RESPONSE AND LEVEL OF CIRCULATING FREE TRIIODOTHYRONINE OF WHITE RATS

Stanishevskaya T.I., Gornaya O.I., Anosov I.P.

*Melitopol Bohdan Khmelnytsky State Pedagogical University
72312, Ukraine, Melitopol, Lenin Str., 20*

stanisch@ukr.net

The expression of adrenergic responses in different sectors of the scale of triiodothyronine concentration under the condition of hypothyroidism, euthyroidism, hyper- and thyrotoxicosis was studied on the example of calorigenesis of white rats. Within physiological changes of triiodothyronine concentration the intensity of oxygen consumption by the whole organism of white rats increases proportionally to the level of circulating hormones. At the end of the physiological scale of free triiodothyronine concentrations the rate of oxygen consumption of white rats is significantly higher than at its beginning. In the right-hand part of the scale of physiological fluctuations of triiodothyronine level the intensity of oxygen consumption by the whole organism of white rats is maintained on a high level, but with high variability parameters. When the level of circulating triiodothyronine gets to the upper limit of norm of «concentrations scale», thyroid regulation of the rate of oxygen consumption goes on pathophysiological way, resulting in the loss of precision of homeostatic maintenance of basal metabolism.

Between the rate of oxygen consumption and the level of circulating triiodothyronine regardless of thyroid status (from hypothyroidism to severe symptoms of thyrotoxicosis) there is a positive linear relationship characterized only with the regression coefficients of different magnitude. Therefore, the active regulation of the total calorigenesis by triiodothyronine persists far beyond the upper limit of normal hormone levels.

Experimental triiodothyronine hyper- and thyrotoxicosis of moderate intensity increases the caloriegene effect of adrenaline; under the conditions of thyrotoxicosis with severe symptoms the caloriegene effect of catecholamine gradually weakens, and at high concentration of free triiodothyronine disappears completely. The status of experimental hypothyroidism reduces the amount of caloriegene adrenergic response of adrenaline.

Between the amount of caloriegene effect of adrenaline and triiodothyronine level of animals of euthyroid, hyperthyroid and thyreotoxicosis groups there is a positive direct relationship, differing only by its expression; in the formation of thyreotoxicosis with severe symptoms the caloriegene adrenergic response is reversed – inverted. Preserved in a limited form the caloriegene effect of adrenaline of thyroidectomized animals is not connected with the thyroid hormones, in particular with the free triiodothyronine.

Thus, free triiodothyronine is an effective natural control of adrenergic and general calorigenesis, functioning both at the euthyroid state and far beyond the physiological concentration of circulating triiodothyronine.

Keywords: calorigenesis, adrenergic response, hypothyroidism, euthyroidism, hyperthyroidism, thyrotoxicosis.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время априори считается, что гормоны щитовидной железы при состоянии эутиреоза, т.е. физиологической тиреоидной нормы, регулируют функциональное состояние нервно-мышечной системы, системы кровообращения, энергетического обмена и др., выполняя, таким образом, роль физиологических биорегуляторов [1, 2, 3]. Однако, как показал анализ литературы [4, 5, 6], такой вывод сделан на основании изучения разнообразных экспериментальных моделей гипотиреоза-гипертиреоза-тиреотоксикоза либо исследовании последствий стресса, либо наблюдений из клинической практики, т.е. на основании косвенных данных. Между тем, прямые доказательства реальности существования функционально значимых эффектов физиологических концентраций тиреоидных гормонов, как эндогенных физиологических регуляторов единичны и малоизвестны [6, 7, 8]. Остается недостаточно изученным и вопрос о возможности гормонов щитовидной железы к функционально полезной регуляции функций за пределами их физиологических концентраций. Таким образом, возникает необходимость сравнительного исследования закономерностей тиреоидной регуляции функций в рамках физиологического диапазона колебаний гормонов, на его границах и за их пределами.

Цель нашей работы – на примере калоригенеза изучить выраженность адренергических реакций в разных секторах шкалы концентрации трийодтиронина при гипотиреозе, эутиреозе, гипер- и тиреотоксикозе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперименты выполнены на 170 взрослых белых крысах-самцах с разным тиреоидным статусом: гипертиреоз (1Т3-группа, n=30, 4 инъекции по 15 мкг/кг трийодтиронина ежесуточно), экспериментальный тиреотоксикоз (2Т3-группа, n=30, 4 инъекции по 25 мкг/кг), экспериментальный тиреотоксикоз выраженной степени (10 дней по 25 мкг/кг), экспериментальный гипотиреоз (Т0-группа, n=30, тироидэктомия) и эутиреоз (контроль, К-группа, n=50). Показателем степени нарушения тиреоидного статуса служили ректальная температура, потребление кислорода, величина тахикардии, масса тела и концентрация циркулирующего свободного трийодтиронина.

С учетом задач нашей работы в качестве основных показателей общего обмена у белых крыс нами использовались скорость потребления кислорода и величина ректальной температуры, измеренные в условиях термонеutralной зоны (26 – 28°C).

При планировании экспериментов ставилось условие возможно большей унификации опытов, проводимых на животных всех 5-ти групп, а также использование возможно меньшего числа лабораторных крыс в соответствии с принципами биоэтики медико-биологических исследований.

Величина потребления кислорода измерялась с помощью электронного газоанализатора «Radiometer» (Дания), и в конечном итоге после преобразователя показаний прибора (парциальное давление, мм.рт.ст.) выражалась в мл/кг мин.

Ректальная температура измерялась на глубине 3 см ртутным термометром соответствующих габаритов с точностью 0,1°C, либо датчиком электронного термометра-сопротивления с точностью 0,05°C.

При характеристике общего обмена животных параллельно с измерением скорости потребления кислорода определялась частота сердечных сокращений.

Частота сердечных сокращений могла регистрироваться и с помощью ЭКГ-электродов в виде 3-х инъекционных игл, вводимых подкожно и располагающихся по классической схеме 1-го стандартного отведения («левая – правая – задняя» лапки). Такой способ

регистрации использовался при выполнении опытов с наркотизированными животными (тиопентал, внутривенно в дозе 75 мг/кг) при исследовании функционального состояния скелетной мышцы в условиях *in situ*.

Цифровые данные обрабатывались с помощью стандартных методов вариационной статистики. Перед выбором используемого в каждом конкретном случае статистического показателя исследуемый вариационный ряд оценивался на предмет соответствия нормальному закону распределения (W-тест Шапиро-Уилка, Statistica 6.0 – 7.0), после чего определялся перечень параметрических или (в противном случае) непараметрических методов статистического анализа.

Оценка различий между двумя выборочными средними величинами проводилась с помощью *t*-критерия Стьюдента при заданном уровне значимости $p < 0,05$.

Характер зависимости между исследуемыми показателями определялся на основе анализа уравнений регрессии, оценки членов уравнения на предмет их статистической значимости, а также регрессионных коэффициентов и коэффициента корреляции Пирсона. Статистические параметры погрешности коэффициентов в регрессионных уравнениях оценивались с помощью пакета анализа Statistica.

Для выделения отдельных независимых множеств в целостных вариационных рядах использовался кластерный анализ (Statistica 7.0, метод *k*-средних), а также двухвыборочный *F*-тест для дисперсий.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Уровень основного обмена, показателем которого служит скорость потребления кислорода в условиях термонейтральной зоны, является одним из важнейших параметров энергетического обмена гомойотермного организма.

Результаты экспериментов показали, что у животных с эутиреоидным статусом (*K-группа*) между величиной скорости потребления кислорода, с одной стороны, и уровнем циркулирующего трийодтиронина, с другой, существует выраженная положительная связь, хорошо описываемая уравнением прямой линии (рис. 1, А) при коэффициенте корреляции Пирсона $r = 0,90 \pm 0,05$ ($p < 0,01$). Инъекция адреналина вызывала стимуляцию общего калоригенеза (рис. 1, А), в результате чего скорость потребления кислорода в среднем повысилась с $23,6 \pm 0,2$ до $27,5 \pm 0,3$ мл/кг мин, или на $3,9 \pm 0,36$ мл/кг мин (+16%, $p < 0,01$). Уровень свободного трийодтиронина в большой мере определял степень стимуляции адреналином скорости потребления кислорода. Так, по данным рисунка 1, Б видно, что выраженность калоригенной адренергической реакции положительно зависела от уровня T_3 , а характер самой зависимости описывался уравнением прямой линии:

$$+\Delta V\dot{O}_2 = 0,61 [T_3] + 1,12 \text{ при } b_{xy} = 0,61 \pm 0,0024 \text{ (} p = 0,0024 \text{) при } r = 0,57 \pm 0,1 \text{ (} p < 0,01 \text{)}.$$

Обращает на себя внимание факт разной вариабельности значений $+\Delta V\dot{O}_2$ на разных участках шкалы концентрации гормона (рис. 1, Б). Так, в диапазоне концентрации трийодтиронина «2,2 – 4,3 пмоль/л» и «4,5 – 7,6 пмоль/л» величина дисперсий согласно двухвыборочному *F*-тесту для дисперсий различалась в 2,2 раза, что было статистически достоверно ($p = 0,027$).

Следовательно, во второй, правосторонней, части физиологической шкалы колебаний уровня трийодтиронина («4,5 – 7,6 пмоль/л») выраженность адренергической стимуляции калоригенеза, во-первых, становится большей, и, во-вторых, более вариабельной.

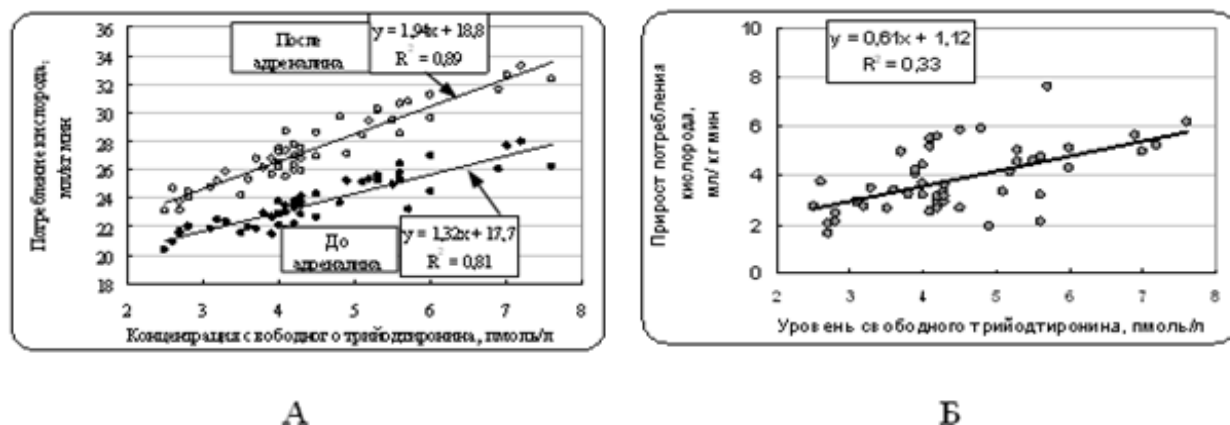


Рис. 1. Зависимость скорости потребления кислорода и калоригенного эффекта адреналина от уровня циркулирующего свободного трийодтиронина у крыс эутиреоидной группы.

Примечания: на А – скорость потребления кислорода в периоды «перед» и «после» инъекции адреналина; на Б – прирост потребления кислорода, вызванный инъекцией адреналина.

Экспериментальный гипертиреоз (*1T₃-группа*), сопровождающийся повышением ректальной температуры до $38,5 \pm 0,1^\circ\text{C}$ и уровня циркулирующего трийодтиронина до $11,8 \pm 0,21$ пмоль/л, вызывал рост скорости потребления кислорода в среднем до $28,6 \pm 0,5$ мл/кг мин (у контроля $23,6 \pm 0,2$ мл/кг мин), или на 21% ($p < 0,01$). Характер зависимости скорости потребления кислорода (V_{O_2}) от уровня циркулирующего трийодтиронина соответствовал нормальному закону (тест Шапиро-Уилка, $p = 0,62$), и описывался уравнением прямой линии, имеющей вид (рис. 2, А):

$$V_{O_2} = 1,73 [T_3] + 8,7 \text{ при } b_{x/y} = 1,73 \pm 0,17 \text{ (} p = 2,08\text{E-}10 \text{) при } r = 0,87 \pm 0,04 \text{ (} p < 0,01 \text{)}.$$

При адренергической стимуляции калоригенеза скорость потребления кислорода нарастала и описывалась уравнением прямой линии, имеющей вид при нормальном законе распределения (тест Шапиро-Уилка, $p = 0,20$):

$$V_{O_2} = 2,9 [T_3] + 0,82 \text{ при } b_{x/y} = 2,9 \pm 0,24 \text{ (} p = 4,01\text{E-}13 \text{) при } r = 0,82 \pm 0,05 \text{ (} p < 0,01 \text{)}.$$

Следует обратить внимание на различия в величинах коэффициентов регрессий в уравнениях (до и после введения адреналина). Во втором случае, т.е. после инъекции адреналина, коэффициент регрессии был в 1,6 раза выше ($p < 0,05$), что указывает на эффект нарастания калоригенного действия катехоламина при повышении уровня циркулирующего трийодтиронина. Собственно величина калоригенного эффекта адреналина у крыс *1T₃-группы* составила $7,5 \pm 0,9$ мл/кг мин (+26%, $p < 0,01$).

Характер зависимости величины калоригенного эффекта адреналина ($+ \Delta V_{O_2}$) от уровня трийодтиронина описывался уравнением прямой линии при положительных коэффициентах корреляции Пирсона и регрессии. Характер распределения данных в совокупности соответствовал нормальному закону (тест Шапиро-Уилка, $p = 0,06$). Собственно уравнение имело следующий вид (рис. 2, Б):

$$+ \Delta V_{O_2} = 1,35 [T_3] - 7,9 \text{ при } b_{x/y} = 1,35 \pm 0,30 \text{ (} p = 0,00014 \text{) при } r = 0,64 \pm 0,11 \text{ (} p < 0,01 \text{)}.$$

Обращает на себя внимание факт резкого возрастания вариабельности $+ \Delta V_{O_2}$ в диапазоне концентрации T_3 « $11,3 - 13,8$ пмоль/л», т.е. в правой области шкалы концентрации гормона. По данным двухвыборочного F-теста, различия между дисперсиями выделенных множеств (рис. 2, Б) оказались статистически достоверными ($p = 0,0026$). Данный факт свидетельствует о снижении точности регуляции исследуемого параметра адренергической реакции.

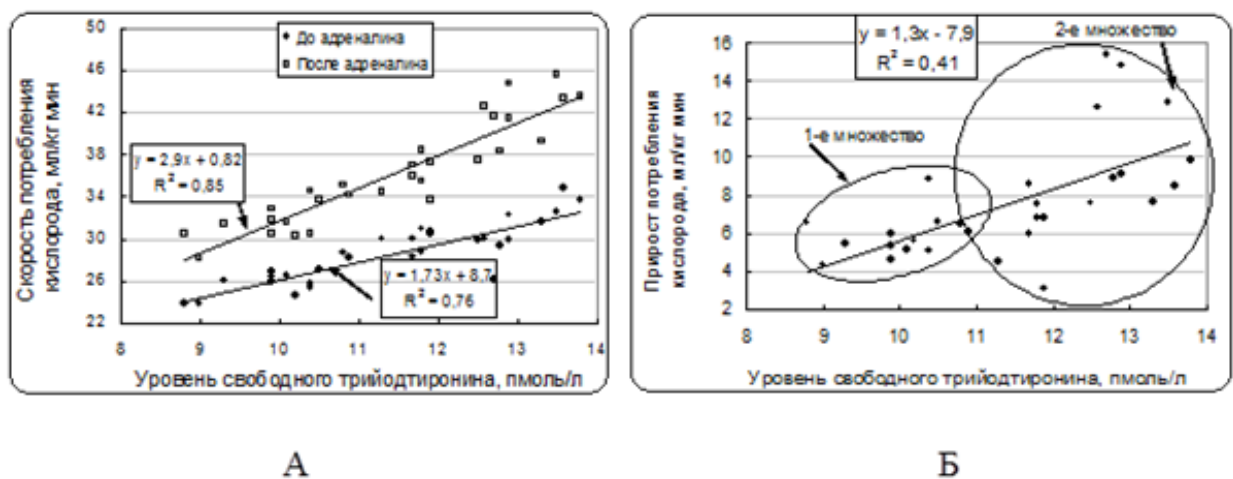


Рис. 2. Зависимость скорости потребления кислорода и калоригенного эффекта адреналина от уровня циркулирующего свободного трийодтиронина у крыс гипертиреозидной группы (1 Т₃-группа).

Примечания: на А – скорость потребления кислорода в периоды «перед» и «после» инъекции адреналина; на Б – прирост потребления кислорода, вызванный инъекцией адреналина.

Таким образом, за верхним пределом физиологической концентрации свободного трийодтиронина калоригенное действие адреналина не только сохраняется, но и продолжает усиливаться. Это свидетельствует в пользу тезиса о расширении диапазона концентрации трийодтиронина за пределы физиологической нормы, в котором Т₃ сохраняет способность к эффективной физиологической регуляции (стимуляции) адренергического калоригенеза.

При формировании экспериментального тиреотоксикоза средней степени выраженности (2Т₃-группа), которая сопровождается повышением ректальной температуры до $39,4 \pm 0,2^\circ\text{C}$ и уровнем циркулирующего трийодтиронина до $17,9 \pm 0,43$ пмоль/л, скорость потребления кислорода в среднем составляла $31,6 \pm 0,4$ мл/кг мин, что было на $9,8 \pm 0,5$ мл/кг мин больше (+41%, $p < 0,01$), чем у животных с эутиреоидным статусом. Характер распределения данных в совокупности соответствовал нормальному закону (тест Шапиро-Уилка, $p = 0,62$). Между скоростью потребления кислорода и уровнем трийодтиронина у крыс данной группы по-прежнему существовала прямая положительная связь (рис. 3, А), которая описывалась уравнением прямой линии:

$$V_{O_2} = 1,05 [T_3] + 13,1 \text{ при } b_{x/y} = 1,05 \pm 0,1 \text{ (} p = 9,3\text{E-11) при } r = 0,88 \pm 0,04 \text{ (} p < 0,01).$$

Распределение данных в целостном вариационном ряду соответствовало нормальному закону (тест Шапиро-Уилка, $p = 0,62$).

После инъекции адреналина скорость потребления кислорода нарастала и также описывалась уравнением прямой линии (рис. 3, А), имеющей вид:

$$V_{O_2} = 1,4 [T_3] + 20,8 \text{ при } b_{x/y} = 1,4 \pm 0,17 \text{ (} p = 7,8\text{E-09) при } r = 0,83 \pm 0,05 \text{ (} p < 0,01).$$

Распределение данных в целостном вариационном ряду также соответствовало нормальному закону (тест Шапиро-Уилка, $p = 0,99$).

Средний прирост потребления кислорода, вызванный инъекцией адреналина, составил $13,7 \pm 0,26$ мл/кг мин (при эутиреозе – $3,8 \pm 0,18$ мл/кг мин). На рисунке 3, Б в графическом виде представлена зависимость между приростом потребления кислорода при адренергической стимуляции и уровнем трийодтиронина. Характер распределения данных в целостной совокупности значений соответствовал нормальному закону (тест Шапиро-Уилка, $p = 0,72$).

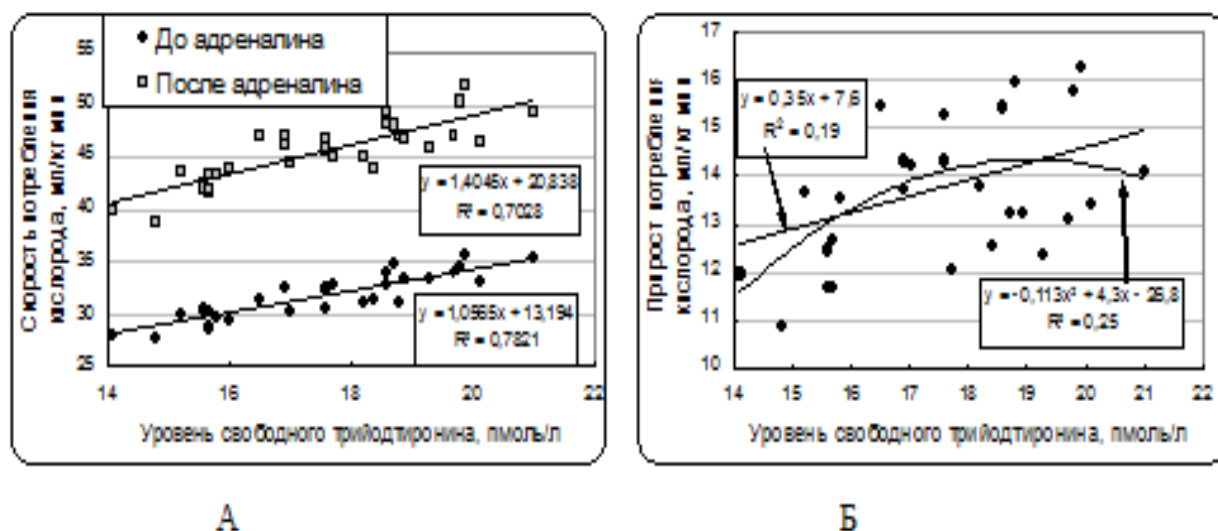


Рис. 3. Зависимость скорости потребления кислорода и калоригенного эффекта адреналина от уровня циркулирующего свободного трийодтиронина у крыс тиреотоксикозной группы (2Т₃-группа).

Примечания: на А – скорость потребления кислорода в периоды «перед» и «после» инъекции адреналина; на Б – прирост потребления кислорода, вызванный инъекцией адреналина.

Видно, что характер зависимости, так же как и в предыдущих случаях, описывалась уравнением прямой линии:

$$+\Delta VO_2 = 0,34 [T_3] + 7,6 \text{ при } b_{x/y} = 0,34 \pm 0,13 \text{ (} p = 0,014 \text{) при } r = 0,44 \pm 0,15 \text{ (} p < 0,05 \text{)}.$$

Следует обратить внимание на то обстоятельство, что указанная зависимость « $+\Delta VO_2 - T_3$ » у крыс тиреотоксикозной группы хорошо описывается также уравнением параболы (рис. 3, Б). По-видимому, этот факт свидетельствует о приближении точки истощения механизма адренергической стимуляции калоригенеза, которая располагается, по данным рисунка 3, Б, в области концентрации трийодтиронина 17 – 19 пмоль/л.

Использованная модель (3Т₃-группа) сопровождалась повышением у животных ректальной температуры до значения $39,9 \pm 0,3^\circ\text{C}$ и ростом уровня циркулирующего свободного трийодтиронина до $28,3 \pm 2,01$ пмоль/л. При в/м инъекции адреналина крысам данной группы калоригенный его эффект все еще был хорошо выражен, однако характеризовался рядом особенностей. Так, скорость потребления кислорода после введения адреналина возросла с $33,1 \pm 0,2$ мл/кг мин до $38,9 \pm 0,3$ мл/кг мин, или на $5,8 \pm 0,4$ мл/кг мин (+17%, $p < 0,01$). Анализ характера зависимости « $VO_2 - T_3$ » в периоды «до» и «после» инъекции катехоламина выявил, что она описывается уравнением прямой линии (рис. 4, А):

$$VO_2 = 0,06 [T_3] + 31,3 \text{ при } b_{x/y} = 0,06 \pm 0,03 \text{ (} p = 0,033 \text{) при } r = 0,39 \pm 0,15 \text{ (} p < 0,05 \text{)}.$$

Распределение данных в целостном вариационном ряду соответствовало нормальному закону (тест Шапиро-Уилка, $p = 0,40$).

После инъекции адреналина скорость потребления кислорода нарастала и также описывалась уравнением прямой линии (рис. 4, А), имеющей вид:

$$VO_2 = -0,12 [T_3] + 42,5 \text{ при } b_{x/y} = -0,12 \pm 0,027 \text{ (} p = 0,00018 \text{) при } r = -0,64 \pm 0,11 \text{ (} p < 0,01 \text{)}.$$

Распределение данных в целостном вариационном ряду также соответствовало нормальному закону (тест Шапиро-Уилка, $p = 0,94$).

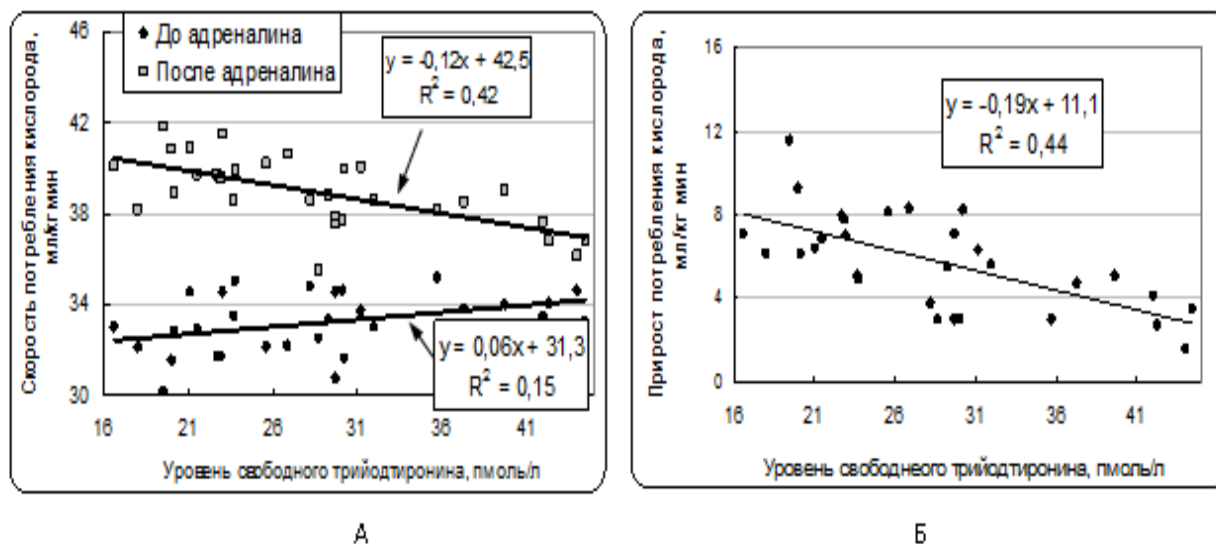


Рис. 4. Зависимость скорости потребления кислорода и калоригенного эффекта адреналина от уровня циркулирующего свободного трийодтиронина у крыс тиреотоксикозной группы (3Т₃-группа).

Примечания: на А – скорость потребления кислорода в периоды «перед» и «после» инъекции адреналина; на Б – прирост потребления кислорода, вызванный инъекцией адреналина.

Характерно, что направленность зависимости « $\dot{V}O_2 - T_3$ » в период «после адреналина» инвертировалась, приобретая отрицательный знак. Это значит, что прирост потребления кислорода после инъекции адреналина при возрастании уровня циркулирующего трийодтиронина должен не повышаться, а, наоборот – снижаться. Действительно, на рисунке 4,Б видно, что вместе с ростом концентрации трийодтиронина калоригенный эффект адреналина прогрессивно падал, а собственно процесс описывался уравнением прямой линии при отрицательном значении коэффициента регрессии и коэффициента корреляции Пирсона:

$$+\Delta\dot{V}O_2 = -0,19 [T_3] + 11,1 \text{ при } b_{x/y} = -0,19 \pm 0,04 \text{ (} p = 7,11 \text{E-}05 \text{) при } r = -0,66 \pm 0,10 \text{ (} p < 0,01 \text{)}.$$

Распределение данных в целостном вариационном ряду также соответствовало нормальному закону (тест Шапиро-Уилка, $p = 0,68$).

Таким образом, при формировании тиреотоксикоза тяжелой степени выраженности характер калоригенной адренергической реакции изменялся на противоположный (инвертировался), и в этом смысле калоригенное действие адреналина практически исчезало, особенно у животных с высоким уровнем циркулирующего трийодтиронина.

После удаления щитовидной железы у животных экспериментальной группы (ТЭ-группа), как и следовало ожидать, понижалась ректальная температура до $36,7 \pm 0,1^\circ\text{C}$ и существенно падала в крови концентрация свободного трийодтиронина ($0,31 \pm 0,12$ пмоль/л). Средняя скорость потребления кислорода составила $18,9 \pm 0,13$ мл/кг мин.

Характер зависимости « $\dot{V}O_2 - T_3$ » в периоды «до» и «после» инъекции катехоламина выявил, что она описывается уравнением прямой линии (рис. 5):

$$\dot{V}O_2 = 2,7 [T_3] + 18,1 \text{ при } b_{x/y} = 2,7 \pm 0,95 \text{ (} p = 0,0078 \text{) при } r = 0,47 \pm 0,14 \text{ (} p < 0,05 \text{)}.$$

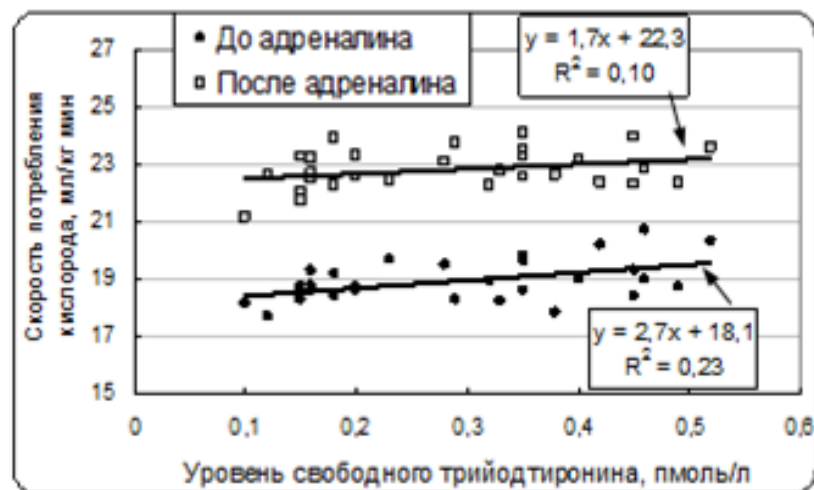


Рис. 5. Зависимость скорости потребления кислорода и калоригенного эффекта адреналина от уровня циркулирующего свободного трийод-тиронина у крыс гипотиреоидной группы (ТЭ-группы)

Распределение данных в целостном вариационном ряду соответствовало нормальному закону (тест Шапиро-Уилка, $p = 0,42$). Введение адреналина приводило к некоторому повышению скорости потребления кислорода ($+3,9 \pm 0,13$ мл/кг мин, или $+ 21\%$, $p < 0,01$). После инъекции адреналина скорость потребления кислорода при росте уровня циркулирующего трийодтиронина описывалась уравнением прямой линии (рис. 5) при статистически недостоверных значениях коэффициента регрессии и корреляции Пирсона:

$$VO_2 = 1,69 [T_3] + 22,3 \text{ при } b_{x/y} = 1,69 \pm 0,95 \text{ (} p = 0,086 \text{) при } r = 0,31 \pm 0,16 \text{ (} p > 0,01 \text{)}.$$

Распределение данных в целостном вариационном ряду также соответствовало нормальному закону (тест Шапиро-Уилка, $p = 0,83$). Как видно, у тироидэктомированных животных сохранившийся, хотя и в ограниченном виде, калоригенный эффект адреналина был не связан с гормонами щитовидной железы, в частности со свободным трийодтироном.

В рамках физиологических колебаний концентрации трийодтиронина интенсивность потребления кислорода целостным организмом белых крыс нарастает пропорционально уровню циркулирующих гормонов. В конце физиологической шкалы концентраций свободного трийодтиронина скорость потребления кислорода у белых крыс существенно выше, чем в ее начале. В правосторонней части шкалы физиологических колебаний уровня трийодтиронина интенсивность потребления кислорода целостным организмом белых крыс поддерживается на высоком уровне, но при высоких параметрах вариабельности. При достижении уровня циркулирующего трийодтиронина верхней границы нормы «шкалы концентраций» тиреоидная регуляция скорости потребления кислорода переходит на патофизиологический путь, что проявляется в утрате точности гомеостатического поддержания основного обмена.

Между скоростью потребления кислорода и уровнем циркулирующего трийодтиронина независимо от тиреоидного статуса (от гипотиреоза до тяжелой степени выраженности тиреотоксикоза) существует положительная прямолинейная связь, характеризующаяся только разными по величине коэффициентами регрессии. Следовательно, активная регуляция трийодтироном общего калоригенеза сохраняется далеко за верхним пределом нормы уровня гормона.

Экспериментальный трийодтирониновый гипер- и тиреотоксикоз средней степени выраженности усиливают калоригенный эффект адреналина; при тиреотоксикозе тяжелой степени выраженности калоригенный эффект катехоламина постепенно ослабляется, и при высокой концентрации свободного трийодтиронина полностью исчезает. Состояние экспериментального гипотиреоза уменьшает величину калоригенной адренергической реакции адреналина.

Между величиной калоригенного эффекта адреналина и уровнем трийодтиронина у животных эутиреоидной, гипертиреоидной и тиреотоксикозной групп существует положительная прямая связь, различающаяся лишь своей силой; при формировании тиреотоксикоза тяжелой степени выраженности характер калоригенной адренергической реакции изменяется на противоположный – инвертируется. У тироидэктомированных животных сохранившийся в ограниченном виде калоригенный эффект адреналина не связан с гормонами щитовидной железы, в частности со свободным трийодтиронином.

Таким образом, свободный трийодтиронин является эффективным естественным регулятором адренергического и общего калоригенеза, функционирующего как при состоянии эутиреоза, так и далеко за пределами физиологической концентрации циркулирующего трийодтиронина.

Перспективы дальнейших исследований заключаются в изучении выраженности адренергических реакций со стороны нервно-мышечной системы у белых крыс в разных секторах шкалы концентрации трийодтиронина.

ВЫВОДЫ

1. В рамках физиологических колебаний концентрации трийодтиронина интенсивность потребления кислорода целостным организмом белых крыс нарастает пропорционально уровню циркулирующих гормонов.
2. При достижении уровня циркулирующего трийодтиронина верхней границы нормы «шкалы концентраций» тиреоидная регуляция скорости потребления кислорода переходит на патофизиологический путь, что проявляется в утрате точности гомеостатического поддержания основного обмена.
3. Экспериментальный трийодтирониновый гипер- и тиреотоксикоз средней степени выраженности усиливают калоригенный эффект адреналина.
4. При тиреотоксикозе тяжелой степени выраженности калоригенный эффект катехоламина постепенно ослабляется, и при высокой концентрации свободного трийодтиронина полностью исчезает.
5. Состояние экспериментального гипотиреоза уменьшает величину калоригенной адренергической реакции адреналина.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиева Г.Ф. Взаимодействие тиреоидных гормонов и катехоламинов в регуляции функции скелетной мышцы белых крыс / Г.Ф. Алиева, В.И. Соболев // Вісник проблем біології і медицини. – 2009. – Вип. 2. – С. 212-218.
2. Кузнецов С.Л. Взаимодействие гипоталамо-гипофизарно-адренкортикальной и тиреоидной осей при хроническом стрессе / С.Л. Кузнецов, М.Ю. Капитонова, В.В. Хлебников // Морфология. – 2009. – Т. 136, № 4. – С. 85. 48.
3. Чирва Г.І. Характер взаємодії тироксину і катехоламінів у реакціях калоригенезу в білих щурів / Г.І. Чирва, В.І. Соболев // Експериментальна та клінічна фізіологія і біохімія. – 2003. – № 2 (22). – С. 72-75.

4. Ревякина Е.Г. Эндокринные корреляции в гипофизарно-тиреоидной системе белых крыс в условиях термонеutralной зоны / Е.Г. Ревякина, В.И. Соболев // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона: межведом. сб. науч. работ / отв. ред. С.В. Беспалова. – Донецк: ДонНУ, 2005. – Вып. 5. – С. 224-231.
5. Соболев В.И. Значение температуры эталона в системе терморегуляции при длительной адренергической стимуляции / В. И. Соболев, Т. П. Короткова // Архив клинической и экспериментальной медицины. – 2003. – Т. 12, № 1. – С. 49.
6. Панфилова С. Г. Состояние некоторых физиологических показателей у белых крыс в процессе развития экспериментального гипертиреоза / С.Г. Панфилова, В.И. Соболев // Вісник Донецького університету. – 2005. – С. 297-303. – (Серія А: Природничі науки; вип. 1, ч. 2).
7. Громакова І.А. Вікові особливості перебігу експериментального гіпотиреозу у щурів / І.А. Громакова, С.Ц. Зільберман, О.О. Коноваленко // Фізіологічний журнал. – 2002. – Т. 48, № 1. – С. 80-86.
8. Hoermann R. Complex relationship between free thyroxine and TSH in the regulation of thyroid function / R. Hoermann, W. Eckl, C. Hoerman // European J. Endocrinology. – 2010. – Vol. 162, № 6. – P. 1123-1129.

REFERENCES

1. Alieva G. F. Vzaimodeystvie tireoidnyh gormonov i kateholaminov v regulyatsii funktsii skeletnoy myshitsyi belyih kryis / G. F. Alieva, V.I. Sobolev // Visny`k problem biologiyi i medy`cy`ny`. – 2009. – Vy`p. 2. – S. 212-218.
2. Kuznetsov S. L. Vzaimodeystvie gipotalamo-gipofizarno-adrenokortikalnoy i tireoidnoy osey pri hronicheskom stresse / S. L. Kuznetsov, M.Yu. Kapitonova, V.V. Hlebnikov // Morfologiya. – 2009. – T. 136, № 4. – S. 85. 48.
3. Chy`rva G. I. Karakter vzayemodiyi ty`roksy`nu i katexolaminiv u reakciyah kalory`genezu v bily`x shhuriv / G. I. Chy`rva, V. I. Sobolyev // Ekspery`mental`na ta klinichna fiziologiya i bioximiya. – 2003. – № 2 (22). – S. 72-75.
4. Revyakina E. G. Endokrinnyie korrelyatsii v gipofizarno-tireoidnoy sisteme belyih kryis v usloviyah termoneutralnoy zonyi / E.G. Revyakina, V.I. Sobolev // Problemyi ekologii i ohranyi prirodyi tehnogennogo regiona: mezhvedom. sb. nauch. rabot / отв. red. S.V. Bespalova. – Donetsk: DonNU, 2005. – Vyip. 5. – S. 224-231.
5. Sobolev V. I. Znachenie temperatury etalona v sisteme termoregulyatsii pri dlitelnoy adrenergicheskoy stimulyatsii / V. I. Sobolev, T. P. Korotkova // Arhiv klinicheskoy i eksperimentalnoy meditsinyi. – 2003. – T. 12, № 1. – S. 49.
6. Panfilova S. G. Sostoyanie nekotoryih fiziologicheskikh pokazateley u belyih kryis v protsesse razvitiya eksperimentalnogo gipertireoza / S. G. Panfilova, V. I. Sobolev // Visny`k Donecz`kogo universy`tetu. – 2005. – S. 297-303. – (Seriya A: Pry`rodn`chi nauky` ; vy`p. 1, ch. 2).
7. Gromakova I. A. Vikovi osobly`vosti perebigu ekspery`mental`nogo gipoty`reozu u shhuriv / I.A. Gromakova, S. Cz. Zil`berman, O.O. Konovalenko // Fiziologichny`j zhurnal. – 2002. – T. 48, № 1. – S. 80-86.
8. Hoermann R. Complex relationship between free thyroxine and TSH in the regulation of thyroid function / R. Hoermann, W. Eckl, C. Hoerman // European J. Endocrinology. – 2010. – Vol. 162, № 6. – P. 1123-1129.