

БУРЫЙ ЖИР В ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА
(обзор литературы)

А.А. ХАДАРЦЕВ, С.В. ТОКАРЕВА

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», медицинский институт,
ул. Болдина, д. 128, г. Тула, 300012, Россия

Аннотация. *Цель исследования* – определить место бурой жировой ткани в функционировании организма человека. *Материалы и методы исследования* – использованы публикации в *elibrary.ru* за последние 5 лет. *Содержание исследования.* В обзоре литературы охарактеризована жировая ткань, ее физиология и морфология. Определены функции жировой ткани – теплоизоляционная, гомеостатическая и эндокринная. Особое внимание уделено бурой жировой ткани, ее локализации в организме человека, бежевых адипоцитов, значимости вырабатываемых адипоцитами адипокинов, в частности, *резистина*, его значимости в жизнедеятельности, описаны вероятные активаторы и ингибиторы резистина. Детально охарактеризованы вопросы термогенеза, обусловленного жировой тканью, и методы диагностики теплопродукции – инфракрасная термография, позитронно-эмиссионная томография. Охарактеризована двухуровневая организация термогенеза жировых тканей. Показана значимость бурой жировой ткани в спорте, в процессах адаптации, при ожирении, сахарном диабете. **Заключение.** Определена важность более детального изучения места бурой жировой ткани в гомеостазе человека, использования полученных на экспериментальных животных научных данных в условиях клиники, в спорте, в системе профилактических мероприятий. Для этого необходима разработка малозатратных способов определения количества бурого жира и его функций.

Ключевые слова: бурая жировая ткань, бежевые адипоциты, резистин, адипоциты, термогенез.

BROWN FAT IN HUMAN LIFE
(literature review)

A.A. KHADARTSEV, S.V. TOKAREVA

Tula State University, Medical Institute, Boldin Str., 128, Tula, 300012, Russia

Abstract. *The research purpose* is to determine the place of brown adipose tissue in the functioning of the human body. *Materials and methods of research.* We used publications in *elibrary.ru* over the past 5 years. *The research content.* The literature review characterizes adipose tissue, its physiology and morphology. The functions of adipose tissues - heat-insulating, homeostatic and endocrine - were determined. Particular attention is paid to brown adipose tissue, its localization in the human body, beige adipocytes, the significance of adipokines produced by adipocytes, in particular, *resistin*, its significance in life, and descriptions of probable activators and inhibitors of resistin. The issues of thermogenesis caused by adipose tissue and methods for diagnosing heat production - infrared thermography, positron emission tomography - are described in detail. The two-level organization of thermogenesis of adipose tissues is characterized. The importance of brown adipose tissue in sports, in adaptation processes, in obesity, diabetes mellitus is shown. **Conclusion.** The importance of a more detailed study of the place of brown adipose tissue in human homeostasis, the use of scientific data obtained on experimental animals in clinical conditions, in sports, and in the system of preventive measures has been determined. This requires the development of low-cost methods for determining the amount of brown fat and its functions.

Keywords: brown adipose tissue, beige adipocytes, resistin, adipocytes, thermogenesis.

Цель исследования – определить место бурой жировой ткани в функционировании организма человека.

Материалы и методы исследования – анализ публикаций в научной электронной библиотеке *elibrary.ru* за последние 5 лет.

Морфология и физиология жировой ткани. Жировая ткань – ассоциация клеток – *адипоцитов*, обеспечивающих энергетические потребности организма теплокровных животных, включая человека. Жировая ткань также выполняет теплоизоляционную функцию, защиту внутренних органов (жировая подушка), и реализует эндокринную функцию, выделяя различные гормоны в кровоток. Различают *белую* и *бурую* жировую ткань.

Бурая жировая ткань (БЖТ) имеет бурый, коричневатый цвет, обусловленный значительным количеством *цитохрома* – железосодержащего пигмента. БЖТ обеспечивает теплопродукцию, благодаря которой организм согревается. Не случайно у животных, впадающих зимой в спячку (медведи и др.), БЖТ содержится в большом количестве. В отсутствии движения (сокращения поперечнополосатой мус-

кулатуры) – теплопродукция осуществляется за счет БЖТ. Во взрослом организме человека БЖТ мало, она уменьшается в процессе развития от новорожденного к взрослому состоянию. БЖТ концентрируется в паранефральной клетчатке, около щитовидной железы, а в межлопаточной области на плечах и грудной клетке локализуется смешанная – белая и бурая жировая ткань. Имеются существенные их отличия друг от друга. В клетке белой ткани имеется один пузырек жира, занимающий почти всю клетку, оттесняя ядро, приобретающее сплюснутый вид, к периферии. В клетке БЖТ имеется множество жировых пузырьков малого размера, а ядро имеет округлую форму. Клетки БЖТ содержат значительное количество митохондрий, содержащих цитохром и обеспечивающих теплопродукцию [2, 21, 23]. Выделяют также бежевые адипоциты, характеризующиеся рассеянностью по всему жировому депо и меньшим, чем в бурых адипоцитах, содержанием митохондрий [7].

Зрелые адипоциты не делятся, но у человека имеются их предшественники – преадипоциты, которые размножаются в период эмбриогенеза и полового созревания. Жир накапливается из-за увеличения размеров существующих адипоцитов. Это – их гиперτροφический рост. При достижении критической массы жира в клетке преадипоциты активируются и обеспечивают рост новых жировых клеток – гиперпластический, или гиперцеллюлярный рост, имеющий место в любом возрасте. В зависимости от этих процессов содержание адипоцитов может колебаться от 35 миллиардов (у худых) до 125 и более миллиардов (при ожирении). Установлено участие жировой ткани в процессах гомеостаза [17].

Жировая ткань секретирует белки, участвующие в регуляторных функциях организма. Известно, что в адипоцитах секретируются адипокины, являющиеся маркерами нарушений обмена липидов. Адипокин резистин у здоровых людей в крови содержится (в среднем) в количестве 15 нг/мл (от 7 до 22 нг/мл). С возрастом и при патологии его количество увеличивается. Резистин относится к богатым цистеином белкам (RELMs), снижает уровень глюкозы в адипоцитах, усиливает действие инсулина. Предполагаемые рецепторы резистина – Toll-подобный рецептор 4 (TLR4) и связанный с аденилатциклазой белок 1 (CAP1). Определен аденилатциклазный путь регуляции внутриклеточного Ca^{2+} в адипоцитах БЖТ. Активаторами резистина являются тестостерон, пролактин, гормоны роста, и глюкокортикоиды. Ингибиторами являются инсулин, адреналин и соматотропин [1, 4, 26, 29, 30, 32].

В жировой ткани синтезируется также гормон пептидной природы – лептин. Наряду с инсулином лептин регулирует чувство насыщения. Увеличение жировой ткани способствует большей выработке лептина под воздействием гена ожирения – *ob*-гена. Попадание лептина в кровь и мозг активирует специфический лептиновый рецептор, при взаимодействии с которым лептин активируется проопиомеланокортин (ПОМК). Образующийся из него α -меланоцитстимулирующий гормон (α МСГ) обеспечивает снижение аппетита, повышение расхода энергии, активацию симпатической нервной системы. Важной функцией жировой ткани является сохранение теплового гомеостаза организма. Различают такие виды теплопродукции, термогенеза, как сократительный термогенез (работа мышц, холодовая дрожь), несократительный термогенез (за счет активации БЖТ умеренным охлаждением) и постсократительный термогенез (в восстановительном периоде после тяжелых физических нагрузок). Установлено, что термогенерация осуществляется скоплением в подкожно-жировом слое теплопродуцирующих клеток, локализующихся преимущественно в надключичных областях. Они ассоциируются с БЖТ, обеспечивают несократительный термогенез, визуализируются при регистрации генерируемого ими инфракрасного излучения. Выявление активной БЖТ осуществляется при помощи позитронно-эмиссионной томографии, эффективность которой ставится, правда, под сомнение. При анализе инфракрасных термопортретов, полученных на калиброванных тепловизорах марки NEK, был разработан индекс термогенности (IT), который позволяет оценить изменения тепловой характеристики кожи во времени, а также количественно определить динамику уровня ее термоактивности, и сравнивать эти уровни у разных людей. Термогенный эффект предположительно объясняется несократительным термогенезом за счет тонических скелетных мышц шеи, в которых имеется разобщающий белок *UCP3*, функционирующий также, как *UCP1* в БЖТ и *UCP2* во внутренних органах. Предложен полуколичественный метод определения разобщающего белка *UCP1*. В условиях преобладания анаэробных энергетических процессов *UCP2* может влиять на улучшение спортивных результатов. Разработаны математические модели метаболических и энергетических потоков в адипоцитах. Одним из критериев термогенной активности считается содержание общего белка и РНК в БЖТ [8, 10, 11, 13, 18, 27, 31, 33]. Предложена морфофункциональная гипотеза двухуровневой организации *UCP1*-зависимого термогенеза жировых тканей. На одном из уровней температурный гомеостаз обеспечивается бурым жиром и бежевыми адипоцитами подкожного жирового депо – при экстренной холодовой адаптации. А диффузно распределенные висцеральные и костно-мозговые бежевые адипоциты – обеспечивают оптимальную температуру для пластических процессов в тканях [7]. Проводятся исследования по влиянию старения на жировую ткань [3, 19, 25], а также воздействие опухолей на массу БЖТ и надпочечники в эксперимента [4].

БЖТ при ожирении и сахарном диабете. На 23 научном конгрессе Американской ассоциации эндокринологов (в 2014 г.) было решено считать ожирение хроническим заболеванием, обусловленным избыточным накоплением жировой ткани. В настоящее время ожирение определено, как хроническое

рецидивирующее, многофакторное нейро-поведенческое заболевание, при котором увеличение жировой ткани сопровождается ее дисфункцией, биомеханическим воздействием на окружающие ткани, развитием метаболических и психосоциальных осложнений. При этом прогениторные клетки начинают накапливать жир [22, 26]. Специфический агонист β_3 -адренергических рецепторов *CL316243* увеличивал активность БЖТ и расход энергии, а введение его здоровым мужчинам усиливало окисление липидов и утилизацию глюкозы. Отложение жира у мужчин в абдоминальной клетчатке сопряжено с большой плотностью рецепторов андрогенов в этой области, регулируемых тестостероном. Абдоминальная жировая ткань является поставщиком *жирных кислот* (ЖК) через печень в мышечную ткань. А тестостерон является регулятором синтеза белка в мышце из аминокислот, образующихся в результате метаболизма глюкозы. Старение вызывает жировое перерождение нежировых тканей, при этом в клетках экспрессируются гены, вызывающие образование *адипоцитов*. Накопление жира в мышцах вызывает *апонтоз* миоцитов, в том числе – кардиомиоцитов. Снижение образования остеобластов из прогениторных мезенхимальных клеток в костной ткани обуславливает сенильный остеопороз. Накопление *триглицеридов* в нейронах ведет к окислительному стрессу и нейродегенеративным заболеваниям, в поджелудочной железе – к ее липоматозу, в печени – к стеатозу [24].

Изучена значимость БЖТ в лечении ожирения. При позитронно-эмиссионной томографии установлено снижение активности БЖТ при ожирении. Активация БЖТ реализуется через воздействие на продукцию гормонов щитовидной железы и через стимуляцию β -3 адренергических рецепторов. Тироксин – *T4*, под влиянием *дейодиназы-2* превращается в *трийодтиронин* – *T3*, который стимулирует выход *UCP1* в цитоплазму и митохондрии, обеспечивая разобщение и фосфорилирование, при этом жирные кислоты и глюкоза превращаются в тепло (термогенез). Активация β -3 адренергических рецепторов через увеличение активности цАМФ обеспечивает повышение содержания в клетке *T3* с последующим разобщением окисления и фосфорилирования разобщающим белком *UCP1* – также с теплопродукцией [6]. БЖТ при определенном температурном режиме обеспечивает различную чувствительность к инсулину [34].

Один из метаболических маркеров, белок *иризин* – можно рассматривать в качестве перспективного фактора для уменьшения физических и когнитивных осложнений, связанных с нарушениями центральной нервной системы. *Иризин* влияет на костный метаболизм, функции сердечнососудистой системы, метаболический синдром и диабет 2 типа, обладает также противоопухолевыми свойствами [35]. Мутация *yellow* в локусе *agouti* снижает активность меланокортиновых рецепторов, подавляет в эксперименте экспрессию генов белков, которые контролируют окисление свободных жирных кислот в мышечной ткани задолго до наступления ожирения [13].

БЖТ при адаптации и в спорте. Современный человек постоянно находится в условиях воздействия эндогенного и экзогенного стресса, провоцирующего развитие таких синдромов и заболеваний, как метаболический синдром, ожирение, сахарный диабет и др. В основе общедоступной физической культуры, лежащей в основе здорового образа жизни, лежат дозированные физические нагрузки. БЖТ является не только органом терморегуляции, но и вероятным объектом коррекции различных метаболических нарушений. Это объясняется присутствием белка *UCP1*, который разобщает процессы окислительного фосфорилирования, гормона *иризина*, способного активировать БЖТ, усилением активности ферментов цикла трикарбоновых кислот, увеличением количества митохондрий. Доказано, что дозированная физическая нагрузка обеспечивает антистрессовый эффект, повышая функциональную активность БЖТ через увеличение числа митохондрий [28].

Изучаются возможности мобилизации функциональных резервов спортсмена без применения допинга, активацию БЖТ при стрессе дозированной физической нагрузкой, вопросы влияния тиреоидной системы на адаптацию к холоду, течение адаптации к холоду без стресса. Воздействие холода обеспечивает увеличение *T3* и *T4* в крови, причем *T3* экспрессирует *иодотирониндейодиназу D2*, увеличивая адренореактивность БЖТ и обеспечивая адаптацию к холоду через активацию теплопродукции. Увеличивается плотность β_1 -адренорецепторов в адипоцитах бурого жира и активность аденилатциклазы. При этом симпатoadренальная и тиреоидная системы, при адаптации к холоду, функционируют как синергисты [5, 9, 14, 16].

И белая жировая ткань, и БЖТ функционально изменяются под воздействием различных факторов. Так, воздействие холода усиливает разобщение *UCP-1*-зависимых *несократительных* термогенных путей в подкожном белом жире через активацию симпатической системы с образованием бежевой жировой ткани. При этом активируется ангиогенез, увеличивающих плотность сосудов, из-за повышенного уровня потребления кислорода. Жировая ткань является также эндокринным органом, генерирующим различные факторы роста, адипокины, гормоны, цитокины. Описана модель, позволяющая изучить процесс трансформации *адипоцитов* белой жировой ткани в бежевую жировую ткань, а также активацию ангиогенеза. Структурные и функциональные изменения адипоцитов и эндотелиальных клеток микрососудов могут быть легко обнаружены с помощью специфических молекулярных маркеров для каждого типа клеток. Так, клетки БЖТ и бежевой жировой ткани экспрессируют *UCP-1*, как маркера для идентификации этих клеток, в то время, как эндотелиальные клетки выявляются при помощи *CD31* (*PECAM-1*), или других специфических маркеров. Показано, что БЖТ имеется у взрослых людей, в которой воздей-

ствие холода может спровоцировать в БЖТ активность метаболизма. Такая индуцированная холодом модель БЖТ на экспериментальных животных является актуальной для людей. Эта модель актуальна для изучения молекулярных механизмов роста и функционирования микрососудов. На ней возможно изучать лечебное влияние сочетания холода и фармацевтических препаратов для снижения массы тела. Хроническое (в течение 4 недель) непрерывное воздействие холода (+4°C) и периодическое его воздействие (+4°C, 8 часов в сутки, 4 недели) – не является хроническим стрессом, но обеспечивает адаптивный ответ [5, 12, 15, 23].

Изучается активация БЖТ при бронхиальной астме, влияние длительного ограниченного питания на БЖТ в термонейтральных условиях, терапевтический потенциал БЖТ, исследуется урсоловая кислота, как активатор онкосупрессора *P TEN* и бурого жира – с противоопухолевым эффектом [9, 17, 20].

Заключение. Определена важность более детального изучения места бурой жировой ткани в гомеостазе человека, использования полученных на экспериментальных животных научных данных в условиях клиники, в спорте, в системе профилактических мероприятий. Для этого необходима разработка малозатратных способов определения количества бурого жира и его функций.

Литература

1. Авсарагова А.З., Астахова З.Т., Ремизов О.В. Влияние адипокина резистина на риск развития сердечно-сосудистых осложнений у больных с острым коронарным синдромом // Вестник новых медицинских технологий. 2019. №4. С. 49–52. DOI: 10.24411/1609-2163-2019-16513.
2. Алиева А.М., Байкова И.В., Хаджиева Н.Х., Эттингер О.А., Аракелян Р.А., Валиев Р.К., Рахеев А.М., Батов М.А., Эльмурзаева Д.А., Малкарова Д.С., Никитин И.Г. Резистин и сердечно-сосудистая патология // Терапия. 2021. Т. 7, № 9 (51). С. 137–147. DOI: 10.18565/therapy.2021.9.137-147.
3. Бажан Н.М., Бакланов А.В., Пискунова Ю.В., Казанцева А.Ю., Макарова Е.Н. Исследование возрастных изменений в жировом обмене у мышей после пубертации. В сборнике: Материалы XXIII съезда Физиологического общества им. И.П. Павлова с международным участием. 2017. С. 1707–1705.
4. Главатских Н.Г. Влияние опухоли SK-ML 28 на массу бурого жира и надпочечников у животных линии SCID. В книге: Молодежь XXI века: образование, наука, инновации. Материалы VIII Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием. В 2-х частях. Под редакцией А.С. Хомченко. 2019. С. 26–28.
5. Гурков Н.А. Индуцированная холодом активация бурой жировой ткани и ангиогенез жировой ткани у мышей. В сборнике: Инновационные тенденции развития российской науки. Материалы XIV Международной научно-практической конференции молодых ученых. Красноярск, 2021. С. 108–113.
6. Драпкина О.М., Корнеева О.Н., Ивашкин В.Т. Активация симпатической нервной системы при ожирении. Как повлиять на энергетический гомеостаз? // Артериальная гипертензия. 2011. Т. 17, № 2. С. 102–107.
7. Елсукова Е.И. Двухуровневая организация термогенеза жировых тканей – морфофункциональная гипотеза // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2019. Т. 55, № 5. С. 339–347.
8. Елсукова Е.И. Содержание общего белка и РНК в бурой жировой ткани грызунов в качестве критерия ее термогенной активности. В сборнике: современные биоэкологические и химические исследования на территории средней Сибири. Материалы школы-семинара для школьников, студентов, магистрантов, аспирантов и преподавателей-ученых. Ответственный редактор Е.М. Антипова; Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева. 2019. С. 18–21.
9. Елсукова Е.И., Мизонова О.В., Медведев Л.Н. Влияние длительного ограничения питания в термонейтральных условиях на бурую жировую ткань лабораторных мышей // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2015. Т. 159, № 5. С. 553–556.
10. Кисиль С.И., Плюснина Т.Ю. Моделирование метаболических и энергетических потоков в клетке бурого жира. В книге: Математика и математическое моделирование. Сборник материалов XIV Всероссийской молодежной научно-инновационной школы. 2020. С. 50–51.
11. Козлов А.В., Сонькин В.Д. Инфракрасная тепловизионная диагностика подкожных термогенераторов несократительного теплообразования // Физиология человека. 2019. Т. 45, № 6. С. 86–102.
12. Кокшарова Е.О., Майоров А.Ю., Шестакова М.В. Метаболические особенности и терапевтический потенциал бурой и “бежевой” жировой ткани // Сахарный диабет. 2014. № 4. С. 5.
13. Лукьянцев В.И. Полуколичественный метод определения разобщающего белка UCP1 в паховой жировой ткани мышей линии ICR. В сборнике: Современные биоэкологические исследования средней Сибири. материалы Международной научно-практической конференции «Биоэкологические и географические исследования на территории Средней Сибири» и научно-практической конференции «БИОЭКО». Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева. 2021. С. 108–110.
14. Маслов Л.Н., Цибульников С.Ю., Нарыжная Н.В., Иванов В.В., Цибульникова М.Р. Хроническое воздействие холода - адаптация без стресса // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. 2016. Т. 60, № 1. С. 28–31
15. Мойер М.У. Может ли бурый жир победить ожирение? // В мире науки. 2015. № 8-9. С. 142–144.

16. Надольник Л.И., Шуриберко А.В., Чумаченко С.С., Андреев В.П., Флоурис А. Влияние дозированной физической нагрузки на функциональную активность бурой жировой ткани крыс. В сборнике: Метаболический синдром: эксперимент, клиника, терапия. Материалы II Международного симпозиума. Редакционная коллегия: Надольник Л.И., Пронько П.С., Аверин В.А., Чумаченко С.С., Кирюхина Л.Г., 2015. С. 153–157.

17. Пальцын А.А., Свиридкина Н.Б., Аракелов С.Э. Жировая ткань в гомеостазе // Патогенез. 2021. Т. 19, № 4. С. 80–88.

18. Пискунова Ю.В., Бакланов А.В., Казанцева А.Ю., Бажан Н.М. Мутация YELLOW в локусе агути у мышей подавляет экспрессию генов белков, контролирующей интенсивность окисления свободных жирных кислот в скелетных мышцах, задолго до манифестации ожирения. В книге: Беляевские чтения. Тезисы докладов Международной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика АН СССР Д.К. Беляева. 2017. С. 79.

19. Пискунова Ю.В., Казанцева А.Ю., Бакланов А.В., Бажан Н.М. Мутация yellow в локусе agouti устраняет возрастное повышение экспрессии генов белков, регулирующих окисление жирных кислот в мышцах у мышей // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22, № 2. С. 265–272.

20. Провоторов В.М., Свиридов С.И., Семенкова Г.Г. Клиническая эффективность коррекции ожирения у больных с бронхиальной астмой // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2014. Т. 13, № 4. С. 813–815.

21. Романцова Т.И. Жировая ткань: цвета, депо и функции // Ожирение и метаболизм. 2021. Т. 18, №3. С. 282–301.

22. Самородская И.В. Ожирение: вопросов больше, чем ответов // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2021. Т. 20, № 5. С. 102–103.

23. Стасевич К. Жир белый, бурый, бежевый // Биология в школе. 2015. № 7. С. 3–7.

24. Терешина Е.В., Иваненко С.И. Возрастное ожирение - наследие эволюционного прошлого (обзор) // Биохимия. 2014. Т. 79, № 7. С. 739–752.

25. Трегузов А.А. Метаболическая активность жировых тканей при старении лабораторных мышей. В сборнике: Современные биоэкологические исследования средней Сибири. Материалы научно-практической конференции «БИОЭКО». Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева. 2020. С. 33–35.

26. Хадарцев А.А., Токарева С.В., Константинова Д.А. К патогенезу ожирения и обоснованию его немедикаментозной коррекции (обзор литературы) // Вестник новых медицинских технологий. Электронное периодическое издание. 2020. №5. Публикация 1-15. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2020-5/1-15.pdf> (дата обращения: 23.10.2020). DOI: 10.24411/2075-4094-2020-16749.

27. Хижняк Л.Н., Хижняк Е.П., Иваницкий Г.П. Диагностические возможности матричной инфракрасной термографии. Проблемы и перспективы // Вестник новых медицинских технологий. 2012. Т. 19, № 4. С. 170.

28. Шуриберко А.В. Влияние дозированной физической нагрузки на активацию бурой жировой ткани крыс при стрессе. В книге: Молодежь в науке - 2016. Сборник материалов Международной конференции молодых ученых. В 2-х частях. Редколлегия: В.Г. Гусаков, 2017. С. 262–264.

29. Acquarone E., Monacelli F., Borghi R. Resistin: A reappraisal // Mech Ageing Dev. 2019. № 178. P. 46–63. DOI: 10.1016/j.mad.2019.01.004.

30. Borsuk A., Biernat W., Zieba D. Multidirectional action of resistin in the organism // Postep Hig Med Dosw. 2018. № 72. P. 327–338.

31. Chondronikola M., Beeman S.C., Wahl R.L. Non-invasive methods for the assessment of brown adipose tissue in humans // J. Physiol. 2018. V. 596, № 3. P. 363.

32. Deb A., Deshmukh B., Ramteke P. Resistin: A journey from metabolism to cancer // Transl Oncol. 2021. № 14(10). P. 101–178. DOI: 10.1016/j.tranon.2021.101178.

33. Formenti D., Ludwig N., Rossi A. Skin temperature evaluation by infrared thermography: Comparison of two image analysis methods during the nonsteady state induced by physical exercise // Infrared Physics & Technology. 2017. V. 81. P. 32.

34. Lee P., Smith S., Linderman J., Courville A.B., Brychta R.J., Dieckmann W., Werner C.D., Chen K.Y., Celi F.S. Temperature-acclimated brown adipose tissue modulates insulin sensitivity in humans // Diabetes. 2014. №22. PII: DB_140513.

35. Munoz I.Y.M., Romero E.S.C., García J.J.G. Irisin a Novel Metabolic Biomarker: Present Knowledge and Future Directions // Int J Endocrinology. 2018. № 2018. P. 7816806.

36. Park H.K., Kwak M.K., Kim H.J., Ahima R.S. Linking resistin, inflammation, and cardiometabolic diseases // Korean J Intern Med. 2017. № 32(2). P. 239–247. DOI: 10.3904/kjim.2016.229.

References

1. Avsaragova AZ, Astahova ZT, Remizov OV. Vlijanie adipokina rezistina na risk razvitija serdechno-sosudistyh oslozhnenij u bol'nyh s ostrym koronarnym sindromom [Effect of adipokine resistin on the risk of cardiovascular complications in patients with acute coronary syndrome]. Vestnik novyh medicinskih tehnologij. 2019;4:49-52. DOI: 10.24411/1609-2163-2019-16513. Russian.

2. Alieva AM, Bajkova IV, Hadzhieva NH, Jettinger OA, Arakeljan RA, Valiev RK, Rahaev AM, Batov MA, Jel'murzaeva DA, Malkarova DS, Nikitin IG. Rezistin i serdechno-sosudistaja patologija [Resistin and cardiovascular pathology]. *Terapija*. 2021;7(51):137-47. DOI: 10.18565/therapy.2021.9.137-47. Russian.

3. Bazhan NM, Baklanov AV, Piskunova JuV, Kazanceva AJu, Makarova EN. Issledovanie vozrastnyh izmenenij v zhirovom obmene u myshej posle pubertacii [Study of age-related changes in fat metabolism in mice after puberty]. V sbornike: Materialy XXIII sezda Fiziologicheskogo obshhestva im. I.P. Pavlova s mezhdunarodnym uchastiem; 2017. Russian.

4. Glavatskih NG. Vlijanie opuholi SK-ML 28 na massu burogo zhira i nadpochechnikov u zhivotnyh linii SCID [The effect of the SK-ML 28 tumor on the mass of brown fat and adrenal glands in animals of the SCID line]. V knige: Molodezh' XXI veka: obrazovanie, nauka, innovacii. Materialy VIII Vserossijskoj studencheskoj nauchno-prakticheskoi konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. V 2-h chastjah. Pod redakciej A.S. Homchenko; 2019. Russian.

5. Gurkov NA. Inducirovannaja holodom aktivacija buroj zhirovoj tkani i angiogenez zhirovoj tkani u myshej [Cold-induced activation of brown adipose tissue and angiogenesis of adipose tissue in mice. In the collection: Innovative trends in the development of Russian science]. V sbornike: Innovacionnye tendencii razvitiya rossijskoj nauki. Materialy XIV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii molodyh uchenyh. Krasnojarsk; 2021. Russian.

6. Drapkina OM, Korneeva ON, Ivashkin VT. Aktivacija simpaticeskoi nervnoj sistemy pri ozhireнии. Kak povlijat' na jenergeticheskij gomeostaz? [Activation of the sympathetic nervous system in obesity. How to influence energy homeostasis?] *Arterial'naja gipertenzija*. 2011;17(2):102-7. Russian.

7. Elsukova EI. Dvuhurovnevaja organizacija termogeneza zhirovyh tkanej – morfofunkcional'naja gipoteza [Two-level organization of thermogenesis of adipose tissues - morphofunctional hypothesis]. *Zhurnal jevoljucionnoj biohimii i fiziologii*. 2019;55(5):339-47. Russian.

8. Elsukova EI. Soderzhanie obshhego belka i RNK v buroj zhirovoj tkani gryzunov v kachestve kriterija ee termogennoj aktivnosti [The content of total protein and RNA in brown adipose tissue of rodents as a criterion of its thermogenic activity]. V sbornike: sovremennye bioekologicheskie i himicheskie issledovanija na territorii srednej Sibiri. Materialy shkoly-seminara dlja shkol'nikov, studentov, magistrantov, aspirantov i prepodavatelej-uchenyh. Otvetstvennyj redaktor EM. Antipova; Krasnojarskij gosudarstvennyj pedagogicheskij universitet im. V.P. Astaf'eva; 2019. Russian.

9. Elsukova EI, Mizonova OV, Medvedev LN. Vlijanie dlitel'nogo ogranichenija pitaniya v termonejtral'nyh uslovijah na buruju zhirovuju tkan' laboratornyh myshej [The effect of prolonged restriction of nutrition in thermoneutral conditions on brown adipose tissue of laboratory mice]. *Bjulleten' jeksperimental'noj biologii i mediciny*. 2015;159(5):553-6. Russian.

10. Kisil' SI, Pljushina TJu. Modelirovanie metabolicheskikh i jenergeticheskikh potokov v kletke burogo zhira [Modeling of metabolic and energy flows in a brown fat cell]. V knige: Matematika i matematicheskoe modelirovanie. Sbornik materialov XIV Vserossijskoj molodezhnoj nauchno-innovacionnoj shkoly; 2020. Russian.

11. Kozlov AV, Son'kin VD. Infrakrasnaja teplovizionnaja diagnostika podkozhnyh termogeneratorov nesokratitel'nogo teploobrazovanija [Infrared thermal imaging diagnostics of subcutaneous thermogenerators of noncontractive heat generation]. *Fiziologija cheloveka*. 2019;45(6):86-102. Russian.

12. Koksharova EO, Majorov AJu, Shestakova MV. Metabolicheskie osobennosti i terapevticheskij potencial buroj i "bezhevoj" zhirovoj tkani [Metabolic features and therapeutic potential of brown and "beige" adipose tissue]. *Saharnyj diabet*. 2014;4:5. Russian.

13. Luk'jancev VI. Polukolichestvennyj metod opredelenija razobshhajushhego belka UCP1 v pahovoj zhirovoj tkani myshej linii ICR. V sbornike: Sovremennye bioekologicheskie issledovanija srednej Sibiri. materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii «Bioekologicheskie i geograficheskie issledovanija na territorii Srednej Sibiri» i nauchno-prakticheskoi konferencii «BIOJeKO» [A semi-quantitative method for determining the uncoupling protein UCP1 in the inguinal adipose tissue of ICR mice]. Krasnojarskij gosudarstvennyj pedagogicheskij universitet im. V.P. Astaf'eva; 2021. Russian.

14. Maslov LN, Cibul'nikov SJu, Naryzhnaja NV, Ivanov VV, Cibul'nikova MR. Hronicheskoe vozdejstvie holoda - adaptacija bez stressa [Chronic exposure to cold - adaptation without stress]. *Patologicheskaja fiziologija i jeksperimental'naja terapija*. 2016;60(1):28-31 Russian.

15. Mojer MU. Mozhet li buryj zhir pobedit' ozhirenie? [Can brown fat defeat obesity?] V mire nauki. 2015;8-9:142-4. Russian.

16. Nadol'nik LI, Shuriberko AV, Chumachenko SS, Andreev VP, Flouris A. Vlijanie dozirovannoj fizicheskoj nagruzki na funkcional'nuju aktivnost' buroj zhirovoj tkani krysa [The effect of dosed physical activity on the functional activity of brown adipose tissue of rats]. V sbornike: Metabolicheskij sindrom: jeksperiment, klinika, terapija. Materialy II Mezhdunarodnogo simpoziuma. Redakcionnaja kollegija: Nadol'nik LI, Pron'ko PS, Averin VA, Chumachenko SS, Kirjuhina LG; 2015. Russian.

17. Pal'cyn AA, Sviridkina NB, Arakelov SJe. Zhirovaja tkan' v gomeostaze [Adipose tissue in homeostasis]. *Patogenez*. 2021;19(4):80-8. Russian.

18. Piskunova JuV, Baklanov AV, Kazanceva AJu, Bazhan NM. Mutacija YELLOW v lokuse aguti u myshej podavljajet jekspressiju genov belkov, kontrolirujushhih intensivnost' okislenija svobodnyh zhirnyh kislot v skeletnyh myshchah, zadolgo do manifestacii ozhirenija [The YELLOW mutation in the agouti locus in mice suppresses the expression of protein genes controlling the intensity of oxidation of free fatty acids in skeletal muscles, long before the manifestation of obesity. In the book: Belyaev readings]. V knige: Beljaevskie chtenija. Tezisy dokladov Mezhdunarodnoj konferencii, posvjashhennoj 100-letiju so dnja rozhdenija akademika AN SSSR D.K. Beljaeva; 2017. Russian.

19. Piskunova JuV, Kazanceva AJ, Baklanov AV, Bazhan NM. Mutacija yellow v lokuse agouti ustranjaet vozrastnoe povysenie jekspressii genov belkov, regulirujushhii okislenie zhirnyh kislot v myshchah u myshej [The yellow mutation in the agouti locus eliminates the age-related increase in the expression of protein genes regulating fatty acid oxidation in muscle in mice]. Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2018;22(2):265-72. Russian.
20. Provotorov VM, Sviridov SI, Semenkov GG. Klinicheskaja jeffektivnost' korrekcii ozhireniya u bol'nyh s bronhial'noj astmoy [Clinical efficacy of obesity correction in patients with bronchial asthma]. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah. 2014;13(4):813-5. Russian.
21. Romancova TI. Zhirovaja tkan': cveta, depo i funkcii [Adipose tissue: colors, depot and functions]. Ozhirenie i metabolizm. 2021;18(3):282-301. Russian.
22. Samorodskaja IV. Ozhirenie: voprosov bol'she, chem otvetov [Obesity: there are more questions than answers]. Kardiovaskuljarnaja terapija i profilaktika. 2021;20(5):102-3. Russian.
23. Stasevich K. Zhir belyj, buryj, bezhevyy [Fat is white, brown, beige]. Biologija v shkole. 2015;7:3-7. Russian.
24. Tereshina EV, Ivanenko SI. Vozrastnoe ozhirenie - nasledie jevoljucionnogo proshlogo (obzor) [Age-related obesity - the legacy of the evolutionary past (review)]. Biohimija. 2014. T. 79. № 7. S. 739–752. Russian.
25. Treguzov AA. Metabolicheskaja aktivnost' zhirovnyh tkanej pri starenii laboratornyh myshej [Metabolic activity of adipose tissues during aging of laboratory tissues. In the collection: Modern bioecological studies of Central Siberia]. V sbornike: Sovremennye biojekologicheskie issledovanija srednej Sibiri. Materialy nauchno-prakticheskoj konferencii «BIOJEKO». Krasnojarskij gosudarstvennyj pedagogicheskij universitet im. VP. Astaf'eva; 2020. Russian.
26. Hadarcev AA, Tokareva SV, Konstantinova DA. K patogenezu ozhireniya i obosnovaniju ego nemedikamentoznoj korrekcii (obzor literatury) [On the pathogenesis of obesity and the justification of its non-drug correction (literature review)]. Vestnik novyh medicinskih tehnologij. Jelektronnoe periodicheskoe izdanie. 2020 [cited 2020 Oct 23];5 [about 6 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2020-5/1-15.pdf>. DOI: 10.24411/2075-4094-2020-16749.
27. Hizhnjak LN, Hizhnjak EP, Ivanickij GR. Diagnosticheskie vozmozhnosti matrichnoj infrakrasnoj termografii [Diagnostic capabilities of matrix infrared thermography. Problems and prospects]. Problemy i perspektivy. Vestnik novyh medicinskih tehnologij. 2012;19(4):170. Russian.
28. Shuriberko AV. Vlijanie dozirovannoj fizicheskoj nagruzki na aktivaciju buroj zhirovoy tkani krysa pri stresse [The effect of dosed physical activity on the activation of brown adipose tissue of rats under stress]. V knige: Molodezh' v nauke - 2016. Sbornik materialov Mezhdunarodnoj konferencii molodyh uchenyh. V 2-h chastjah. Redkollegija: VG. Gusakov; 2017. Russian.
29. Acquarone E, Monacelli F, Borghi R. Resistin: A reappraisal. Mech Ageing Dev. 2019;178:46-63. DOI: 10.1016/j.mad.2019.01.004.
30. Borsuk A, Biernat W, Zieba D. Multidirectional action of resistin in the organism. Postep Hig Med Dosw. 2018;72:327-38.
31. Chondronikola M, Beeman SC, Wahl RL. Non-invasive methods for the assessment of brown adipose tissue in humans. J. Physiol. 2018;596(3):363.
32. Deb A, Deshmukh B, Ramteke P. Resistin: A journey from metabolism to cancer. Transl Oncol. 2021;14(10):101-78. DOI: 10.1016/j.tranon.2021.101178.
33. Formenti D, Ludwig N, Rossi A. Skin temperature evaluation by infrared thermography: Comparison of two image analysis methods during the nonsteady state induced by physical exercise. Infrared Physics & Technology. 2017;81:32.
34. Lee P, Smith S, Linderman J, Courville AB, Brychta RJ, Dieckmann W, Werner CD, Chen KY, Celi F.S. Temperature-acclimated brown adipose tissue modulates insulin sensitivity in humans. Diabetes. 2014;22:140513.
35. Munoz IYM, Romero ESC, Garcia JGG. Irisin a Novel Metabolic Biomarker: Present Knowledge and Future Directions. Int J Endocrinology. 2018;2018:7816806.
36. Park HK, Kwak MK, Kim H, Ahima RS. Linking resistin, inflammation, and cardiometabolic diseases. Korean J Intern Med. 2017;32(2):239-47. DOI: 10.3904/kjim.2016.229.

Библиографическая ссылка:

Хадарцев А.А., Токарева С.В. Бурый жир в жизнедеятельности человека (обзор литературы) // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2022. №2. Публикация 3-4. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2022-2/3-4.pdf> (дата обращения: 19.04.2022). DOI: 10.24412/2075-4094-2022-2-3-4*

Bibliographic reference:

Khadartsev AA, Tokareva SV. Buryj zhir v zhiznedejatel'nosti cheloveka (obzor literatury) [Brown fat in human life (literature review)]. Journal of New Medical Technologies, e-edition. 2022 [cited 2022 Apr 19];2 [about 7 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2022-2/3-4.pdf>. DOI: 10.24412/2075-4094-2022-2-3-4

* номера страниц смотреть после выхода полной версии журнала: URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2022-2/e2022-2.pdf>