

И.В. Гайворонский^{1,2}, А.А. Родионов², А.И. Гайворонский^{1,2},
М.Г. Гайворонская^{2,3}, Г.И. Ничипорук^{1,2},
И.А. Горячева^{1,2}, Н.К. Хабибуллина^{2,3}

Параспинальные структуры терморегуляции

¹Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

³Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Санкт-Петербург

Резюме. Представлен детальный анализ литературы о строении и функциях параспинальных структур терморегуляции человека, участвующих в поддержании температурного гомеостаза. Показано, что в процессе эволюции вокруг спинального центра терморегуляции формируется своеобразный параспинальный морфофункциональный комплекс, включающий термовырабатывающие структуры (жировая и мышечная ткани), венозные термораспределительные кольца, образованные параспинальными венозными сплетениями, и терморегулирующий нервный аппарат (менингеальные и задние ветви спинномозговых нервов и их нервные окончания). Установлено, что термовырабатывающие структуры представлены жировой клетчаткой эпидурального пространства, жировой клетчаткой костного мозга, паравerteбральной и межлопаточной жировой тканью, мышцами спины и межреберными мышцами. Жировая клетчатка костного мозга играет важную роль не только в терморегуляции, но и в remodelировании костей. Жировая клетчатка в основном включает компоненты белой и небольшое количество бурой жировых тканей. Тепло от мышц посредством венозной системы позвоночного столба влияет на работу спинального центра терморегуляции путем сократительного термогенеза. Показано, что вокруг центра терморегуляции спинного мозга образуют четыре термораспределительных кольца. Первым из них является венозное русло мягкой оболочки спинного мозга и ликвор субарахноидального пространства; вторым – внутренние позвоночные венозные сплетения; третьим – внутрикостные (интраорганные) венозные сплетения позвонков; четвертым – переднее и заднее наружные позвоночные венозные сплетения. Все четыре термораспределительных венозных кольца анастомозируют между собой, образуя единую термораспределительную систему вокруг спинального центра терморегуляции. Иннервация термовырабатывающих структур и термораспределительных венозных колец осуществляется соматическими и вегетативными нервными волокнами.

Ключевые слова: спинальный центр терморегуляции, термогенез, эндогенное тепло, термовырабатывающие структуры, термораспределительные венозные кольца, венозные позвоночные сплетения, бурая жировая ткань, белая жировая ткань.

В процессе филогенетического развития сформировались специальные терморегулирующие механизмы, поддерживающие температуру тела на постоянном уровне. Температура тела гомойотермных (теплокровных) организмов определяется теплом, образующимся в мышцах, жировой ткани (белой и бурой) и внутренних органах.

Общеизвестно, что в организме человека существуют два центра терморегуляции: филогенетически более древний, сформировавшийся на уровне спинного мозга (спинальный), и более новый – в гипоталамической области (гипоталамический). Последний у человека выполняет главенствующую роль, так как именно он координирует многочисленные и сложные процессы, обеспечивающие сохранение температуры тела на постоянном уровне. Соединены эти центры между собой посредством спинноталамического тракта.

По данным W. Wunnenberg, K. Bruck [20], E.Д. Васильевой [2], J.A. Brock, R.M. McAllen [9], спинальный центр терморегуляции расположен в спинном мозге на уровне его нижнешейных и верхнегрудных сегментов (C₅–Th₂).

Спинальный центр осуществляет контроль за двумя важными терморегуляторными эфферентными процессами, выработкой метаболического тепла и потерей испарительного тепла через кожу и органы дыхания [20].

Эндогенное производство тепла является одним из самых интересных эволюционных достижений природы. Известно, что в мышцах при их дрожании образуется до 50–60% всего тепла. Тепло в мышцах образуется даже в состоянии покоя и при температуре комфорта, так как мышцы постоянно находятся в состоянии тонуса (антигравитационный тонус, терморегуляционный тонус). Недостающие 40–50% тепла образует жировая ткань (бурая и белая). Только млекопитающие обладают бурой жировой тканью, которая позволила им приспособиться ко всем природно-климатическим условиям. Бурая жировая ткань у животных играет решающую роль в выработке тепла при воздействии холода. Наибольшее внимание ученые уделяют межлопаточной бурой жировой ткани.

По данным Ю.И. Афанасьева, Е.Д. Колодезниковой [1], R. Oelkrug et al. [16], W. Wang, P. Seale [19], M. Klingenspor et al. [15], M. Jastrosh et al. [14], адипоциты бурой жировой ткани характеризуются обилием мелких липидных капелек (мультилокулярных) в отличие от белых адипоцитов, имеющих одну большую липидную каплю. Кроме того, они содержат большое количество митохондрий, которые и обуславливают коричневый цвет жировой ткани. Бурая жировая ткань также содержит вкрапления белой, количество которой увеличивается по направлению к их границе, где визуально их трудно различить.

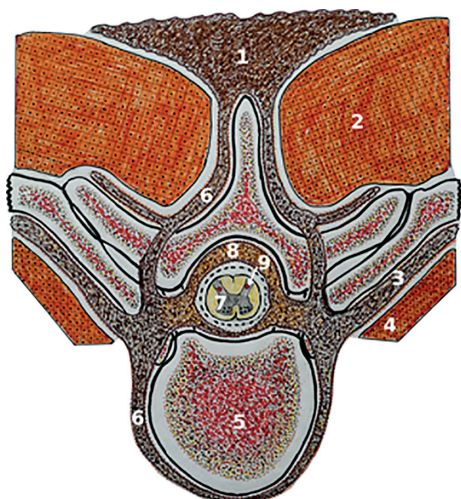


Рис. 1. Схема термовырабатывающих структур, обеспечивающих оптимальный режим работы спинального центра терморегуляции: 1 – межлопаточная бурая жировая ткань; 2 – мышцы спины; 3 – паравазальная межрёберная жировая ткань; 4 – межрёберные мышцы; 5 – жировая клетчатка красного костного мозга; 6 – паравертебральная жировая клетчатка; 7 – спинной мозг; 8 – жировая клетчатка эпидурального пространства; 9 – спинальный центр терморегуляции

Термогенез в бурой жировой ткани обусловлен адренергической стимуляцией, так как норадреналин (симпатический нейротрансмиттер) представляет собой мощный активатор несократительного термогенеза в ответ на холодовое воздействие. Симпатический отдел вегетативной нервной системы активирует липолиз и митохондриальное расщепление в бурых адипоцитах. Образующаяся при этом тепловая энергия поступает в венозную кровь.

Y.J. Gao [12] утверждает, что периваскулярный жир выделяет антипрессорные адипокины, предупреждающие спазм артерий при воздействии на них холода.

Межлопаточная и паравертебральная бурая жировая ткань, выделяя тепло, избирательно воздействует на терморецепторы шейного и верхнегрудного отделов спинного мозга через позвоночные венозные сплетения. Ответной реакцией на согревание этих терморецепторов будет снижение сократительного термогенеза.

В процессе эволюции вокруг спинального центра терморегуляции формируется своеобразная параспинальная морфофункциональная система, включающая следующие образования: 1) четыре группы термовырабатывающих структур, представленных жировой и мышечной тканями (рис. 1); 2) четыре венозных термораспределительных кольца, образованных венозными сплетениями спинного мозга и позвоночного столба (рис. 2); 3) терморегулирующий нервный аппарат, представленный менингеальными и задними ветвями спинномозговых нервов и их нервными окончаниями (рис. 3).

Все термовырабатывающие структуры продуцируют эндогенное тепло. Первая такая структура представлена жировой клетчаткой эпидурального

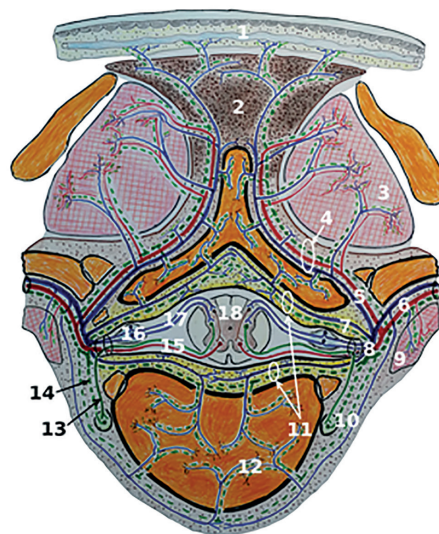


Рис. 2. Схема параспинальных термораспределительных венозных колец, обеспечивающих оптимальный режим работы спинального центра терморегуляции:

1 – анастомозы между наружным и внутренним позвоночными венозными сплетениями; 2 – переднее и заднее наружное позвоночное венозное сплетение (четвертое термораспределительное венозное кольцо); 3 – межпозвоночные вены; 4 – межрёберная вена; 5 – полунепарная вена; 6 – непарная вена; 7 – переднее и заднее внутреннее позвоночное венозное сплетение (второе термораспределительное венозное кольцо); 8 – анастомозы внутрикостного венозного сплетения с наружным и внутренним позвоночными венозными сплетениями; 9 – внутрикостное венозное сплетение позвонка (третье термораспределительное венозное кольцо); 10 – твердая мозговая оболочка; 11 – поверхностное венозное сплетение мягкой оболочки спинного мозга (первое термораспределительное венозное кольцо); 12 – корешковые вены; 13 – вены собственного вещества спинного мозга; 14 – спинной мозг; 15 – стрелками указано направление движения крови в термораспределительных венозных кольцах и их анастомозах)

пространства, которая по своему строению существенно отличается от экстравертебральной и характеризуется рядом функциональных показателей: она слизисто-желеобразная, полужидкая, гидрофильная, неоднородная [7, 8]. Неоднородность в строении жировой ткани эпидурального пространства обусловлена присутствием в ее составе бурой жировой ткани. Наличие бурой жировой ткани в эпидуральном пространстве характерно для всех млекопитающих [17].

Белая и бурая жировая ткань организуется в дольки (диаметром до 4 мм) преимущественно по ходу сосудов внутреннего позвоночного венозного сплетения. Четкую границу между ними не всегда удается провести. Белая жировая ткань эпидурального пространства доминирует над бурой. Локализация бурой жировой ткани в эпидуральном пространстве имеет большое функциональное значение для быстрого повышения температуры спинного мозга [16].



Рис. 3. Схема параспинальных терморегуляторных конструкций, обеспечивающих оптимальный режим работы спинального центра терморегуляции: 1 — кожа; 2 — межлопаточная бурая жировая ткань; 3 — мышцы спины; 4 — паравертебральное терморегуляционное кольцо; 5 — задняя ветвь спинномозгового нерва; 6 — передняя ветвь спинномозгового нерва; 7 — менингеальная ветвь спинномозгового нерва; 8 — спинномозговой нерв; 9 — межрёберные мышцы; 10 — симпатический узел; 11 — эпидуральное терморегуляционное кольцо; 12 — внутрикостные нервные сплетения; 13 — белая соединительная ветвь; 14 — серая соединительная ветвь; 15 — передний корешок спинного мозга; 16 — чувствительный узел спинномозгового нерва; 17 — задний корешок спинного мозга; 18 — спинной мозг (зеленый цвет — терморегулирующие кольца и вегетативные структуры; синий цвет — чувствительные структуры; красный цвет — двигательные волокна)

Жировая клетчатка присутствует во всех частях эпидурального пространства с преимущественной концентрацией в задних и боковых отделах, включая межпозвоночные отверстия, через которые она общается с паравертебральной клетчаткой. На уровне спинального центра терморегуляции (C_5 – Th_2) у лиц I периода зрелого возраста площадь жировой клетчатки эпидурального пространства (на горизонтальных срезах) к его общей площади колеблется от 76 до 85% (площадь эпидурального пространства на гистологических срезах составляет на уровне C_5 – $94,3 \pm 11,4$ мм², C_6 – $108 \pm 8,8$ мм², C_7 – $109,6 \pm 10,8$ мм², Th_1 – $106,9 \pm 6,0$ мм², Th_2 – $107,2 \pm 8,2$ мм²) [7, 8].

Второй термовырабатывающей структурой является жировая клетчатка красного костного мозга, отличающаяся морфологически и функционально от других экстрамедуллярных жировых тканей [18]. Она представляет особую категорию жировой ткани, которая играет важную роль не только в терморегуляции, но и в ремоделировании костей.

Отложение этой ткани в костном скелете начинается после рождения и длится в течение всей жизни, превращая красный костный мозг в желтую жировую ткань (желтый костный мозг). К 25 годам желтый кост-

ный мозг занимает приблизительно 70% от объема красного костного мозга.

Жир костного мозга не состоит из единой однородной ткани. Он включает как бурую, так и белую жировые ткани. Физиологическое значение фенотипа бурого жира, как указано выше, заключается в выработке энергии в форме тепла, т. е. он обеспечивает адаптивный термогенез, влияющий на остеогенез и согревание венозной крови. Термогенная активность бурой жировой ткани красного костного мозга контролируется вегетативной нервной системой.

Третьей термовырабатывающей структурой является паравертебральная и межлопаточная жировая ткань, которая также включает компоненты белой и бурой жировых тканей. Паравертебральная жировая клетчатка в основном локализована в межпозвоночных отверстиях вокруг аорты, полых непарной и полунепарной вен и простирается по ходу межреберного сосудисто-нервного пучка. Межлопаточная бурая жировая ткань служит основным поставщиком тепла в наружные и внутренние венозные позвоночные сплетения. Жировая клетчатка первого и третьего термовырабатывающих комплексов связана между собой через клетчатку межпозвоночных отверстий.

Четвертой термовырабатывающей структурой, связанной с выработкой эндогенного тепла, являются мышцы спины и межрёберные мышцы, тепло от которых посредством венозной системы позвоночного столба также влияет на работу спинального центра терморегуляции путем сократительного термогенеза [15].

Важную роль в теплообмене и удерживании тепла в организме играет венозная система, являющаяся своеобразным распределителем тепла в организме, в том числе и в структурах, окружающих центр терморегуляции спинного мозга. Вокруг этого центра венозные сосуды образуют четыре термораспределительных кольца.

Первым термораспределительным кольцом вокруг спинального центра терморегуляции являются венозное русло спинного мозга и ликвор субарахноидального пространства. Венозное русло спинного мозга включает в себя собственные вены спинного мозга и вены пиального сплетения, заложенные в мягкой мозговой оболочке [5].

В мягкой оболочке спинного мозга находится густая анастомотическая венозная сеть, в составе которой выделяют шесть продольных стволов: переднюю и заднюю спинномозговые вены, следующие по передней и задней срединным бороздам, и две парные боковые вены, расположенные вдоль мест входа и выхода корешков спинномозговых нервов. Венозное русло спинного мозга клапанов не имеет, кровь от него оттекает через передние и задние корешковые вены в межпозвоночные вены, образующие межпозвоночные сплетения.

В межпозвоночных отверстиях залегают чувствительные узлы спинномозговых нервов (спинномозговые ганглии), где локализованы тела первых нейронов термопроводящего спинно-таламического пути – tractus spinothalamicus [9].

Роль второго термораспределительного кольца, расположенного вокруг спинного мозга, выполняю

внутренние позвоночные венозные сплетения. В его составе выделяют переднее и заднее венозные сплетения [6]. Переднее внутреннее позвоночное венозное сплетение слагается из разного количества продольных венозных стволов и анастомозов между ними. Сзади они частично прикрыты задней продольной связкой и анастомозируют с внутрикостными венами тел позвонков. Оба эти сплетения не имеют клапанов, анастомозируют между собой в области ножек дуги позвонка и образуют единое эпидуральное венозное сплетение. По данным Е.И. Золиной [3], в стенках внутренних позвоночных сплетений имеются мышечные элементы, что обуславливает их способность к активным сокращениям. Основной отток крови из этого сплетения осуществляется через межпозвоночные вены в задние межрёберные вены.

N. Dahzan, R. Soames [11] обнаружили, что межпозвоночные вены могут впадать не в проксимальные концы задних межрёберных вен, а непосредственно в непарную и полунепарную вены, чаще на правой стороне, но не на всех уровнях. Эти связи могут играть определенную роль в регуляции кровотока между непарными венами, венозным руслом спинного мозга и эпидуральным венозным сплетением. Данные участки межпозвоночных вен не имеют клапанов, и в них возможен ретроградный кровоток, обуславливающий транспортировку теплой крови в вены позвоночного канала и спинного мозга из межрёберных вен.

В морфофункциональном плане второе термораспределительное венозное кольцо играет наиболее существенную роль в сохранении температурного режима в эпидуральном пространстве. Это своеобразный температурный стабилизационный «пояс безопасности» для спинального центра терморегуляции [8].

Третьим термораспределительным кольцом вокруг спинного мозга являются внутрикостные (интраорганные) венозные сплетения позвонков. Наиболее полное строение венозных сплетений тел, дуг, поперечных, остистых и суставных отростков описано в работах Г.Ф. Илизарова, А.М. Мархашова [4].

Внутрикостные вены соединяют между собой вены позвоночного канала и наружные вены тел позвонков. Собираательные вены тела, дуги и отростков позвонка открываются на различных их поверхностях и впадают во внутренние и наружные позвоночные венозные сплетения. Венозное русло губчатого вещества позвонков клапанов не имеет. Внутрикостные вены имеют тонкие стенки, в их составе гладких мышц нет [10].

По нашему мнению, третье термораспределительное кольцо в поддержании тела является самым стабильным из всех сред окружения спинного мозга.

Четвертое термораспределительное кольцо представлено передними и задними наружными позвоночными венозными сплетениями. Переднее наружное позвоночное венозное сплетение образовано венами надкостницы, передней продольной связки и анастомозами с непарной веной.

Заднее наружное позвоночное венозное сплетение выражено лучше, чем переднее. Оно образовано венами

дуг позвонков, остистых, суставных и поперечных отростков. Это сплетение имеет многочисленные анастомозы с эпидуральными венами, принимает кровь от межлопаточной бурой жировой ткани, глубоких мышц спины, межрёберных мышц и кожи спины, образуя единое мощное заднее паравертебральное венозное сплетение. Клапанный аппарат вен этого сплетения обуславливает основной отток крови через анастомозы во внутренние позвоночные венозные сплетения. Часть крови из этого сплетения через дорсальные ветви задних межрёберных вен оттекает в систему межпозвоночных вен и проксимальные участки задних межрёберных вен [10].

P.V. Hoogland et al. [13] указывают, что проксимальные части задних межрёберных вен при их впадении в непарные вены имеют клапаны и гладкомышечные сфинктеры. Последние позволяют задним межрёберным венам расширяться, превращая их в своеобразные камеры давления, и в тех сегментах, где в них впадают межпозвоночные вены, обуславливают ретроградный кровоток во внутренние позвоночные венозные сплетения. Теплая кровь по данным венам оттекает от паравертебральной бурой жировой ткани и межрёберных мышц. Авторы приводят морфологические доказательства участия задних межрёберных вен в терморегуляции спинного мозга. Так, в работе P.V. Hoogland et al. [13] представлены фото гистологических препаратов, на которых в местах впадения межрёберных вен в непарную вену демонстрируются клапаны в сочетании с гладкими мышечными сфинктерами, образующими утолщения стенок.

Все четыре термораспределительных венозных кольца анастомозируют между собой, образуя единую термораспределительную систему вокруг спинального центра терморегуляции.

Иннервация термовырабатывающих комплексов и термораспределительных венозных колец осуществляется соматическими и вегетативными нервными волокнами.

Терморегулирующий нервный аппарат, расположенный в позвоночном канале, образован менингеальными ветвями спинномозговых нервов, которые идут самостоятельно или по ходу эпидуральных сосудов и формируют в оболочках спинного мозга нервные сплетения. Менингеальные ветви состоят из чувствительных и постганглионарных симпатических волокон, которые иннервируют оболочки спинного мозга, эпидуральные термовыделительные комплексы и термораспределительные кольца, объединяя их в единое целое. Рецепторный аппарат чувствительных волокон представлен баро-, хемо- и терморецепторами. От чувствительных терморецепторов всех структур эпидурального пространства информация поступает в первичные спинальные и вторичные гипоталамические центры терморегуляции, контролирующие температурный гомеостаз.

Паравертебральные (наружные) терморегулирующие структуры образуют задние ветви спинномозговых нервов. Эти ветви состоят из чувствительных двигательных и постганглионарных симпатических волокон, сохраняющих метамерное строение. За-

дние ветви иннервируют паравертебральные сосуды, жировую клетчатку и мышцы спины, т. е. паравертебральные термовырабатывающие комплексы и термораспределительные кольца.

Таким образом, вокруг спинномозгового центра терморегуляции имеются четыре термовыделительных комплекса, четыре термораспределительных кольца и терморегуляторный нервный аппарат. Указанные структуры формируют единую морфофункциональную терморегуляционную систему спинного мозга.

Литература

- Афанасьев, Ю.Н. Буряя жировая ткань / Ю.Н. Афанасьев, Е.Д. Колодезникова. – Иркутск: Из-во Иркут. ун-та, 1995. – 184 с.
- Васильева, Е.Д. Некоторые вопросы термогенеза и жирового обмена у млекопитающих при действии холода / Е.Д. Васильева // Успехи современной биологии. – 1974. – № 78 (1–4). – С. 139–156.
- Золина, Е.И. Структурные особенности эпидуральной клетчатки позвоночного канала / Е.И. Золина // Мат. 2-го Всесоюз. симп. «Научно-методические вопросы преподавания изучения мягкого остова». – Горький, 1973. – С. 160–161.
- Илизаров, Г.А. Кровоснабжение позвоночника и влияние на его форму изменений трофики и нагрузки: клиническое и анатомо-экспериментальное исследование / Г.А. Илизаров, А.М. Мархашов. – Челябинск: Южно-Урал. кн. изд-во, 1981. – 224 с.
- Мотавкин, П.А. Гистофизиология кровообращения в спинном мозге / П.А. Мотавкин, Ю.Н. Пиголкин, Ю.В. Каминский. – М.: Наука, 1994. – 223 с.
- Протасов, В.Я. Позвоночный венозный бассейн как центральный сегментационный коллектор организма: автореф. дис. ... д-ра мед. наук / В.Я. Протасов. – М., 1969. – 40 с.
- Родионов, А.А. Развитие и макромикроскопическое строение бурой жировой ткани эпидурального пространства в пренатальном онтогенезе человека / А.А. Родионов, Е.И. Полоротова, С.С. Целуйко // Современные аспекты диагностики, лечения и профилактики заболеваний человека: юб. сб. научн. тр., посвящ. 50-летию Амурской гос. мед. акад. – Благовещенск, 2002. – С. 537–540.
- Родионов, А.А. Морфофункциональная характеристика боковых сводов эпидурального пространства спинного мозга и их клиническое значение / А.А. Родионов, И.В. Гайворонский, А.И. Гайворонский // Морфология. – 2014. – № 146 (4). – С. 26–30.
- Brock, J.A. Spinal cord thermosensitivity: An afferent phenomenon / J.A. Brock, R.M. McAllen // Temperature. – 2016. – Vol. 3, № 2. – P. 232–239.
- Clemens, H.J. Beitrag zur Histologie der Plesus venosi vertebrales interni / H.J. Clemens // Z. Mikr. Anat. Forsch. – 1961. – Vol. 27, № 2. – P. 183–189.
- Dahzan, N. Intervertebral veins directly connecting the vertebral venous system to the azygos venous system rather than the proximal end of the posterior intercostal veins / N. Dahzan, R. Soames // Rev. Arg. de Anat. Clin. – 2015. – Vol. 7, № 2. – P. 88–92.
- Gao, Y.J. Dual modulation of vascular function by perivascular adipose tissue and its potential correlation with adiposity lipoatrophy – related vascular dysfunction / Y.J. Gao // Curr. Pharm. Des. – 2007. – № 13. – P. 2185–2192.
- Hoogland, P.V. The posterior intercostals vein: A thermoregulatory gateway to the internal vertebral venous plexus / P.V. Hoogland [et al.] // Clinical Anatomy. – 2013. – № 26. – P. 735–740.
- Jastroch, M. Insights into brown adipose tissue evolution and function from non-model organisms / M. Jastroch, R. Oelkrug, S. Keipert // J. of Experimental Biology. – 2018. – № 221. – P. 1–9.
- Klingenspor, M. Brown Adipose Tissue / M. Klingenspor [et al.] – Springer: Cham, 2017. – P. 91–147.
- Oelkrug, R. Brown adipose tissue: physiological function and evolutionary / R. Oelkrug, E.T. Polymeropoulos, M. Jastroch // J. Comp Physiol. – 2015. – № 185. – P. 587–606.
- Sacks, H. Anatomical Locations of Human Brown Adipose Tissue. Functional Relevance and Implications in Obesity and Type 2 Diabetes / H. Sacks, M.E. Symonds // Diabetes. – 2013. – № 62. – P. 1783–1790.
- Shanmugan, M. Bone marrow adipose tissue and skeletal health / M. Shanmugan, G. Rajgopal, C.L. Sinal // Cur Osteoporos Rep. – 2018. – № 16(4). – 434–442 p.
- Wang, W. Control of brown and beige fat / W. Wang, P. Seale. Molecular Cell Biology. – 2016. – № 17. – P. 691–702.
- Wünnenberg W. Studies on the ascending pathways from the thermosensitive region of the spinal cord / W. Wünnenberg, K. Brück // Pflugers Arch. – 1970. – № 321. – P. 233–241.

I.V. Gaivoronskiy, A.A. Rodionov, A.I. Gaivoronskiy, M.G. Gaivoronskaya,
G.I. Nichiporuk, I.A. Goryacheva, N.K. Khabibullina

Paraspinal structures of thermoregulation

Abstract. A detailed analysis of the literature on the structure and functions of the paraspinal structures of human thermoregulation involved in maintaining temperature homeostasis is presented. It is shown that in the process of evolution, a peculiar paraspinal morphofunctional complex is formed around the spinal center of thermoregulation, including thermal-generating structures (adipose and muscle tissue); venous thermal distribution rings formed by paraspinal venous plexuses and thermoregulatory nervous apparatus (meningeal and posterior branches of the spinal nerves and their nerve endings). It was found that the heat-generating structures are represented by adipose tissue of the epidural space, adipose tissue of the bone marrow, paravertebral and interscapular adipose tissue, back muscles and intercostal muscles). Bone marrow fatty tissue plays an important role not only in thermoregulation, but also in bone remodeling. Fatty tissue mainly includes components of white and a small amount of brown adipose tissue. Heat from muscles through the venous system of the spinal column affects the functioning of the spinal center of thermoregulation by contractile thermogenesis. It has been shown that around the center of thermoregulation of the spinal cord, venous vessels form four thermal distribution rings. The first of them is the venous bed of the soft membrane of the spinal cord and cerebrospinal fluid of the subarachnoid space; the second is the internal vertebral venous plexus; the third - intraosseous (intraorgan) venous plexuses of the vertebrae; the fourth is the anterior and posterior external vertebral venous plexuses. All four thermal distribution venous rings anastomose among themselves, forming a single thermal distribution system around the spinal center of thermoregulation. The innervation of thermal generating structures and thermal distribution of venous rings is carried out by somatic and autonomic nerve fibers.

Key words: spinal center of thermoregulation, thermogenesis, endogenous heat, heat generating structures, thermal distribution venous rings, vertebral venous plexus, brown adipose tissue, white adipose tissue.

Контактный телефон: 8-911-236-07-95; e-mail: vmeda-nio@mail.ru