

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ

doi : 10.52485/19986173_2022_4_79

УДК: 616.8-009.7-039.13

¹Вишнякова Е.М., ²Широков В.А.

СКЛЕРОТОМ И СКЛЕРОТОМНЫЕ БОЛИ – АКТУАЛИЗАЦИЯ ПРОБЛЕМЫ

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Читинская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 672000, г. Чита, ул. Горького, 39А²Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 141014, Московская область, городское поселение Мытищи, улица Семашко, 2

Резюме. В статье проанализированы теоретические и экспериментальные вопросы склеротома и склеротомной боли с позиций современного развития науки.

Ключевые слова: склеротом, склеротомные боли, соматические отраженные боли, Таксономия боли от Международной ассоциации по изучению боли (IASP).

¹Vishnyakova E.M., ²Shirokov V.A.

SCLEROTOM AND SCLEROTOMIC PAIN - ACTUALIZATION OF THE PROBLEM

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

"Chita State Medical Academy" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Chita, Russia

² Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of the Federal Service for Supervision in Protection of the Rights of Consumer and Man Wellbeing, Mytishchi, Moscow Region, 141014, Russian Federation

Abstract. The article analyzes the theoretical and experimental issues of sclerotomy and sclerotomy pain from the standpoint of the modern development of science.

Keywords. Taxonomy of pain according to the International Association for the Study of Pain (IASP), sclerotomy, sclerotomy pain, somatic referred pain.

Склеротомная боль (СБ) описывается в литературе как особая глубинная боль в соматических тканях на расстоянии от источника СБ, находящегося в тканях опорно-двигательного аппарата. Пациенты сравнивают ее с зубной болью из-за тупого, ноющего, мозжащего характера, эмоционально негативной окраски, а также используют дескриптор «тошнотворная» из-за выраженных сопутствующих вегетативных симптомов (головокружение, тошнота). Дополнительными явлениями в зоне СБ могут быть изменения мышечного тонуса, текстуры и цвета тканей, болезненность при пальпации поверхностных и/или глубинных структур (мышц, костных выступов) [1, 2]. СБ в теле распространяется от своего источника вверх или вниз, а иногда в обоих [3] направлениях по достаточно устойчивым, воспроизводимым, индивидуальным для каждого пациента векторам и создает ощущение боли по типу «расщепления», «локальной-отраженной боли» или по типу растекающейся, протяженной, монолитной боли. Иногда СБ может быть «обезглавленной», то есть не иметь локальной боли непосредственно в своем источнике. Характерным для СБ является: различная подверженность структур опорно-двигательного аппарата к генерации СБ, зависимость от силы и характера стимула в источнике СБ, наличие болевого анамнеза и психосоциального контекста, отсроченное начало и окончание после нанесения воздействия в источнике боли (рис. 1) [4, 5]. Несколько работ демонстрируют, что боль может индуцироваться

в структурах с неврологическим дефицитом чувствительности при травме спинного мозга, нерва [6], в зоне медикаментозной анестезии и в фантомной конечности [7, 8].

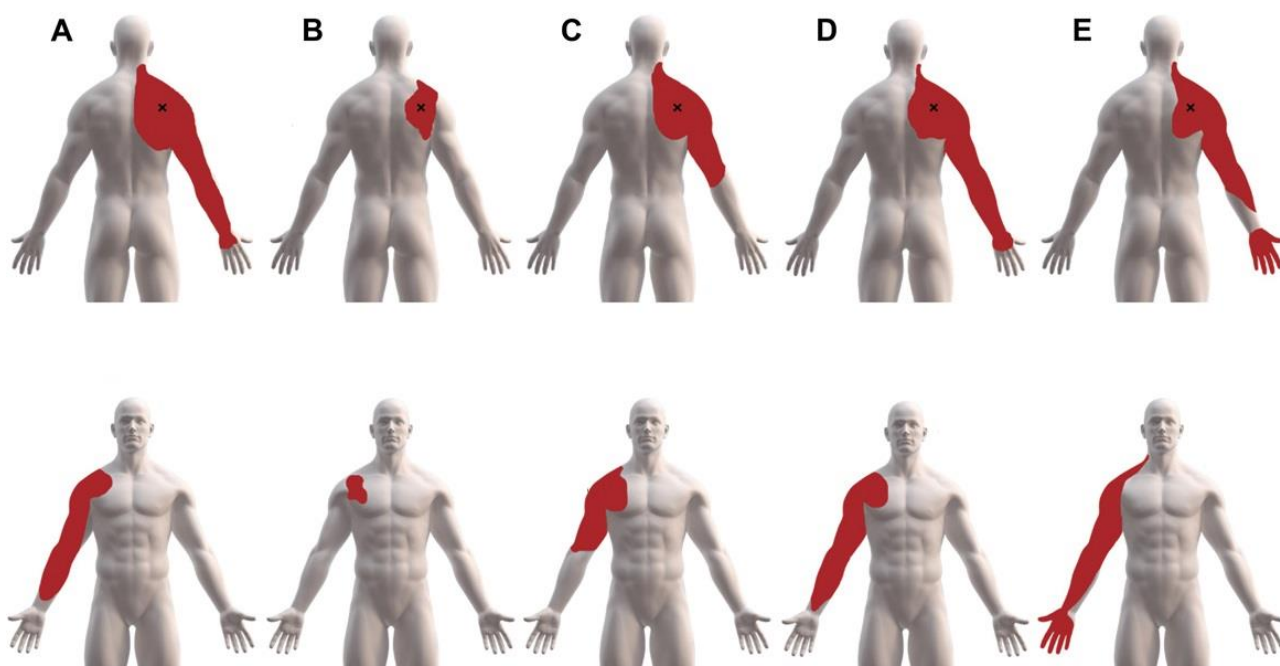


Рис. 1. Распространение боли от подостной мышцы при провоцировании:

А) инъекцией гипертонического физиологического раствора; В) и С) болезненным давлением в течение 5 и 60 секунд, соответственно; D) и Е) на 2-й день после повторной 60-секундной стимуляции давлением у здоровых участников и у бессимптомных участников с переломом плеча в анамнезе, соответственно.

СБ как таковая отсутствует в актуальной версии Таксономии боли Международной ассоциации по изучению боли (IASP), в которой приводится систематизация болевых синдромов согласно современным достижениям в алгологии [9]. Вероятнее всего, в Таксономии она представлена аналогом - отраженной соматической болью. В изданиях IASP (книги, публикации, предыдущие версии Таксономии) не удастся установить фактическую замену СБ отраженной соматической болью, но все же мы нашли контент, где между этими болями ставится знак равенства [10].

Термин СБ базируется на представлении о склеротоме, как о структуре, идентичной дерматому и миотому, то есть метамерам тела с сегментарной иннервацией спинным мозгом. Понятие «склеротом» предложили В. Инман и Дж. Сондерс (V. Inman and J. Saunders) в 1944 г. [11]. Опираясь на эксперименты Келлгрена и других исследователей [12], они повторили опыты по отраженной боли от структур опорно-двигательного аппарата и обнаружили, как им показалось верным, четкую метамерную закономерность расположения зон отраженных болей. После этого полученные рисунки отраженных болей ученые соединили с известной из анатомии схемой иннервации надкостницы скелета и ввели понятие «склеротом», проиллюстрировав его соответствующей схемой, ставшей эталоном для всех последующих изображений склеротома. Следует отметить, что идея изобретения была не новой – для восполнения пробела по метамерной иннервации глубоких соматических тканей Инман и Сондерс предложили схемы отраженной боли как доказательство существования склеротома по аналогии с рядом ученых, которые по метамерному рисунку высыпаний у больных с опоясывающим лишаем, зон анестезии при последовательной ризотомии у обезьян и т.п., создали понятие о дерматоме и миотоме [13]. Отличие концепции изобретения состояло в использовании механистического подхода, в результате которого появился гибридный склеротом, а не экспериментально доказанная связь между сегментарными нервными и сегментарными соматическими структурами. Этот факт, по нашему мнению, является одним из важных недочетов, которые пока оставляют

склеротом в статусе идеи, не прошедшей верификацию, и ограничивающих его применение в науке и практике. В дальнейшем отраженную боль в структурах опорно-двигательного аппарата стали называть склеротомной или отраженной склеротомной (Z. Isaac, C.W. Slipman) [14] и рассматривать СБ с позиций «эмбриональной» памяти.

Термины «склеротом» и «СБ» широко встречаются в медицинской литературе разного времени, в основном по заболеваниям опорно-двигательного аппарата, где используются с позиции: 1) сегментарной иннервации и 2) эмбрионального единства структур опорно-двигательного аппарата [15]. Слово «склеротом» нами используется в статье для обозначения одного склеротома, а также всего набора склеротомов, как это встречается в литературе.

1. Склеротом и СБ с позиции сегментарной иннервации.

Первоначальное представление о склеротоме Инмана и Сондерса как о зоне опорно-двигательного аппарата, иннервируемой одним сегментом спинного мозга, является до сих пор очевидным фактом, а схема склеротомной иннервации «кочует» почти 80 лет из издания в издание, включая высокорейтинговые и авторитетные. Если дерматом и миотом перепроверялись множество раз с использованием различных моделей, то склеротом, оставался консервативным и аксиоматичным с момента создания. Исходная иллюстрация склеротома, раскрашенная из черно-белого в цветное, нарисованная заново с помощью компьютерной графики, с внесением модификаций, например, включение в схему склеротома связочных структур скелета, всегда просматривается в своих репродукциях.

Парадокс изображения склеротома состоит в том, что оно существует автономно от других изображений отраженных соматических болей, включая СБ, хотя является частным вариантом изображения отраженной соматической боли, ограниченным пределами некоторых костей скелета. Лучше обстоит дело со СБ, в схемах которой почти не имеется различий с отраженными соматическими болями, схож перечень территорий, включая голову, позвоночник, грудную клетку [16].

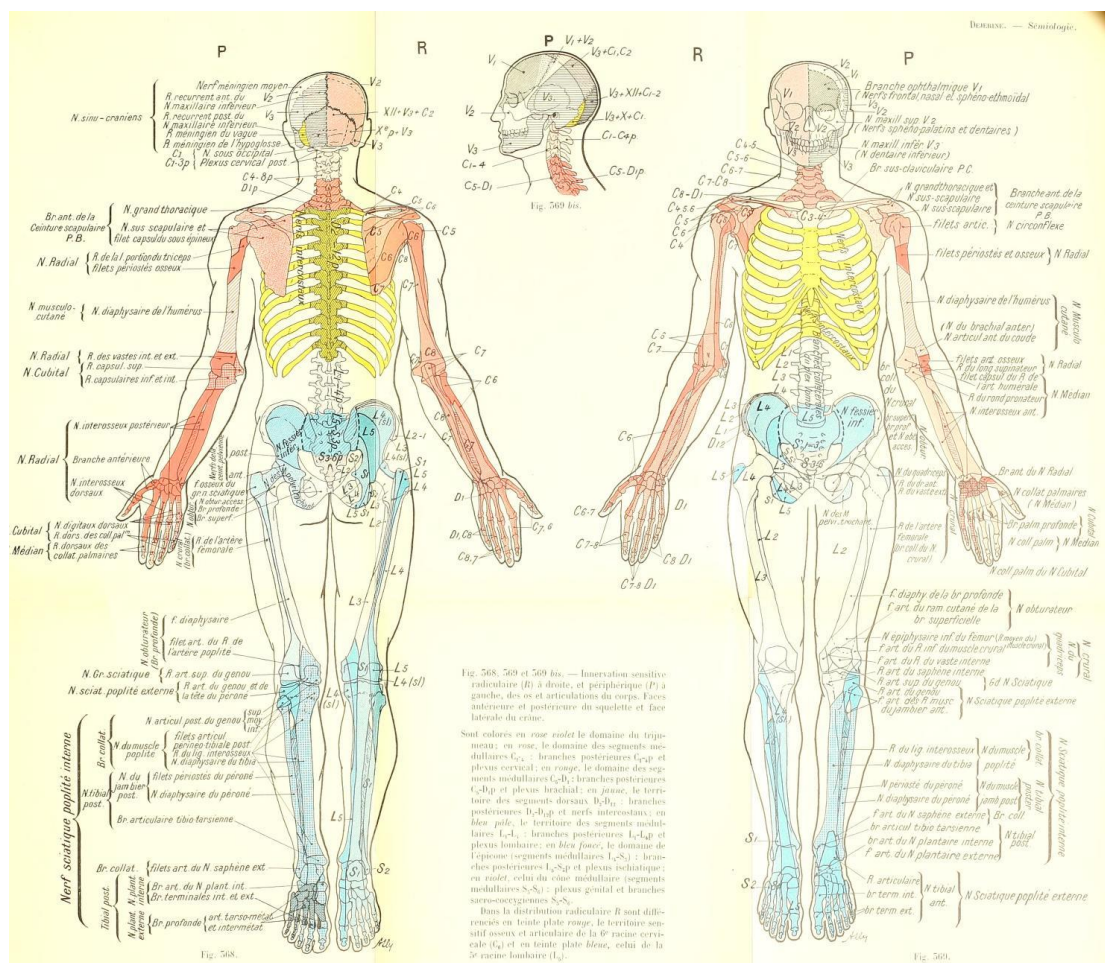


Рис. 2. Схема иннервации надкостницы.

В знаменательной статье, где Инманом и Сондерсом предложено понятие «склеротом», приведены их опыты с мышцами, надкостницей, капсулами суставов, связочным аппаратом и фасцией. Описания и обсуждения вариантов отраженной боли от этих структур в статье нет, а дана схема склеротома, на которой авторы, как мы уже отмечали, выборочно представили рисунки метамеров (склеротомов) костей конечностей, верхнего и нижнего плечевого пояса. Исходя из этого, можно сделать предположение, что схема стала источником утрированного, «вырванного» из контекста статьи определения склеротома как «участка кости, иннервируемого одним сегментом спинного мозга», которое мы встречаем в более поздней литературе. Названное определение противоречит клинической картине при СБ - пациент не может локализовать, находится ли СБ в пределах мышц, связок, фасций или кости [17, 18].

Литературные источники статьи Инмана и Сондерса отсылают читателей к анатомическим схемам (Ж. Дежерин, 1926) [19], положенным в основу создания склеротома. Из рисунков понятно, что авторы разместили зоны отраженной боли в анатомических областях иннервации надкостницы для установления логической связи между корешком и метамером глубоких соматических тканей, согласно их представлению, что распространение болей следовало именно надкостничным зонам (рис. 2). Учитывая тот факт, что в опытах, описанных в статье, манипуляций с корешками не было, можно говорить об умозрительном создании в схеме склеротома соотношения склеротомов с определенными корешками на базе заимствования привязки зон иннервации надкостницы к конкретными нервными корешкам. Был ли использованный подход основан на том, что Инман и Сондерс уже знали, что отраженная боль не воспроизводится при раздражении корешка, заключить сложно, так как в литературе этот факт не встречается.

Если проанализировать схемы отраженной соматической боли, в том числе СБ и склеротомов, за период, составляющий около 130 лет от времени создания первых схем до сегодняшнего момента, то можно отметить, что они отображают различный рисунок распределения болей от мышц, связок, сухожилий, суставов, межпозвонковых дисков, надкостницы, а значит единой схемы склеротома как метамера глубоких соматических не создано. В развитии темы «сегментарного» склеротома существовали попытки назвать его отдельные части собственными названиями, например, «фасциотом», «остеотом», а также схемы объемного рисунка склеротомов в форме многоугольников в толще соматических тканей [20, 21]. Как мы уже упоминали выше, СБ ощущается в глубоких слоях сомы диффузно, из-за чего указанное носит теоретический характер.

Наилучшим графическим представлением отраженных болей, а значит и склеротома, является градуированная карта, где паттерн боли от какой-либо структуры опорно-двигательного аппарата обозначен в виде зоны с учетом их частоты встречаемости у разных индивидов. Карта на основе популяционной вариабельности носит универсальный характер за счет обобщения индивидуальных различий и устраняет один из критикуемых недостатков изображений склеротома – «идеализированность», т. е. игнорирование непостоянства, которой, следует заметить, не лишены рисунки дерматома и миотома [22, 23]. Практическую значимость также имеют схемы, на которых показана вариабельность частоты СБ, но при разной интенсивности боли у одного индивида.

Виду того, что схемы отраженных склеротомных паттернов востребованы в практике для картирования боли при разных клинических ситуациях – миофасциальном, суставном, дискогенном болевом синдроме, энтезопатии, патологии костей и т.д., было бы полезным создание карт других симптомов, которые сосуществуют в месте локализации отраженной боли и не делать различий между СБ и отраженной соматической болью, объединив их по названием последней.

Перечисленные проблемы в вопросах «сегментарного» склеротома и СБ все же являются менее значимыми по сравнению с той, которая касается патогенетических основ СБ и склеротома – СБ как доказательство существования склеротома имеет ряд недочетов теоретического и экспериментального обоснования и проявляет иннервацию метамера тела совершенно иным способом, чем доказательства дерматома и миотома.

Согласно определению в неврологии, сегмент спинного мозга представляет собой участок спинного мозга, образующий пару корешков, то есть, – это отрезок серого вещества спинного мозга без проводящих путей, межсегментарные короткие связи белого вещества, корешки и спинномозговые нервы, расположенные в его пределах. Базовые модели сегментарной иннервации миотома и дерматома были получены воздействием на сегментарные структуры, относящиеся в периферической нервной системе, в основном на спинномозговой нерв, часто называемый корешком, которое вызывало либо дефицит («вычитание», выпадение) функции нервной системы – например, появление паралича или анестезии, либо ирритацию (раздражение, гиперфункция) – например, появление сокращения мышцы или болей в коже. В отличие от этого, СБ в эксперименте при раздражении корешков не воспроизводится, хотя известно, что опорно-двигательный аппарат имеет богатую болевую иннервацию и других чувствительных «входов» в спинной мозг, кроме задних корешков, от соматических структур нет. Модели склеротома, полученные «вычитанием» иннервации глубоких соматических тканей в литературе также встречаются – например, схема корешковой иннервации надкостницы является не чем иным, как остеотомом (составляющей частью склеротома) в самом чистом виде – но они не рассматриваются как доказательство склеротома!

Исходя из данных литературы, следует заключить, что появление боли при экспериментальной или патологической (воспаление, травма и т.д.) стимуляции тканей опорно-двигательного аппарата с возникновением СБ имеет непонятный биологический смысл и патогенез. Последний чаще описывается как возникновение иллюзии, ошибочного/абберрантного восприятия головным мозгом сбоев деятельности нейронов в заднем роге спинного мозга в результате произошедших с ними нейропластических изменений. В настоящее время известно, что эти изменения, с формированием центральной сенситизации, гипервозбудимости нейронов рога [24], которые предполагаются в качестве основного звена патогенеза СБ, описываются при любой боли, следовательно, – это скорее универсальная, неспецифическая реакция нервной системы на боль. Специфическое же реагирование клеток заднего рога состоит, вероятно, в том, от каких чувствительных соматических или нервных структур поступает болевая информация, а также в какие нейрональные микро- и макросети центральной нервной системы она передается и там перерабатывается [25]. Хотя болевая импульсация как от поверхностных, так и глубоких структур сомы поступает в конечной итоге в задний рог, только вторая способна вызывать изменения в работе определенных клеток, ведущие к возникновению отраженных соматических болей.

Современные карты строения заднего рога спинного мозга, полученные на основе генетических исследований с использованием мощных математических моделей [26, 27, 28], показывают точную текущую и генеалогическую гистологическую характеристику клеток, их медиаторный и нейропластический потенциал [29, 30], но как и прежде, не разоблачают истинный механизм функционирования сегмента в норме и патологии. На современном этапе развития науки представляется, что для понимания работы механизмов всего сегментарного аппарата нервной системы потребуются модели, объединяющие различные морфологические и функциональные данные, наподобие тех, которые используется в коннектомике головного мозга для определения связанности [31].

Одна из загадок «сегментарного» склеротома состоит в том, что не понятно, является ли вообще СБ доказательством его существования. Идея Инмана и Сондерса связать отраженную боль с сегментарной иннервацией необычна: если дерматом был доказан путем воздействия на сегментарные нервные структуры, то склеротом – воздействием на рецепторы, для которых нет сегментарной принадлежности. В ожидании разгадки нерешенных вопросов склеротома и СБ от новых экспериментальных методик, следует предложить еще раз проанализировать накопленный опыт. Возможно, были проигнорированы факты экспериментов по корешковой боли, которые показывали, что спровоцированная сегментарная боль носит не только поверхностный, но и глубокий характер, часто

распространяется за границы дерматомов, что даже дало повод говорить о существовании «динатомов» – зон метамеров тела для корешковой боли [32, 33]. Тогда глубокая боль, как часть поверхностно-глубинного болевого синдрома при радикулярной боли, возможно, и есть доказательство «сегментарного» склеротома, а если сепарировать из карт динатомов глубокую боль, то у нас появится возможность увидеть, как выглядит искомый склеротом на основе ирритативной модели. Побочным выводом такого положения вещей может стать логичное представление о корешковой боли как о дерматомно-склеротомной. Интригу добавляет тот факт, что в патогенезе корешковой боли принимают участие *pervi perzogum* корешка [33], а значит, формально или нет, но корешковая боль отчасти является по определению еще и отраженной. Дальнейшая расстановка понятий ставит вопрос о местоположении «склеротома Инмана и Сондерса». Нужно признать, что модель метамера глубокой сомы при раздражении корешка против таковой в спинном мозге не является аналогом, поэтому «склеротом Инмана и Сондерса», проявляющий по базовым научным представлениям сегментарную иннервацию на уровне заднего рога, во избежание путаницы, можно бы называть «дорсохорносклеротомом».

Также требует проверки привлекательная гипотеза отраженных соматических болей, основанная на представлении о тагматической структуре [35] – функциональной единице синергичных мышц, иннервируемой несколькими смежными сегментами спинного мозга. Выходящая за рамки сегмента спинного мозга, она пока предложена только для мышц, но есть вероятность существования сенсомоторных межсегментарных структур и для других частей опорно-двигательного аппарата, объединяющих смежные области сомы. В этом случае предположение об отраженных болях как об иллюзии, ментальной ошибке переносится к противоположному логическому полюсу – наоборот, мозг верно и четко воспринимает отраженную боль – дополнительную к местной боли, распространяющуюся из пробужденных к боли, латентных межсегментарных структур, расположенных продольно в спинном мозге. Перечисленное адекватно объясняет определяющие признаки отраженной боли – то есть то, что она возникает в том месте, который иннервирует нерв, отличный от того, который иннервирует источник, – особенно в тех случаях, когда это наблюдается за пределами одного метамера, – и наводит на рассуждения об эффектах иерархичной чувствительной и двигательной иннервации глубоких слоев сомы. На самой первой ступени этой пирамиды, применимо к алгологии, стоят зоны сомы, которые иннервируются периферической и сегментарной нервной системой (корешок, сплетение, нерв, задний рог), проявляющие свою активность местной болью. Далее стоят межсегментарные структуры, которые вовлекаются при более сильном раздражении сомы и проявляют свои эффекты в виде отраженной соматической боли.

2. Склеротом и СБ с позиции связи структур, развивающихся из склеротома эмбриона.

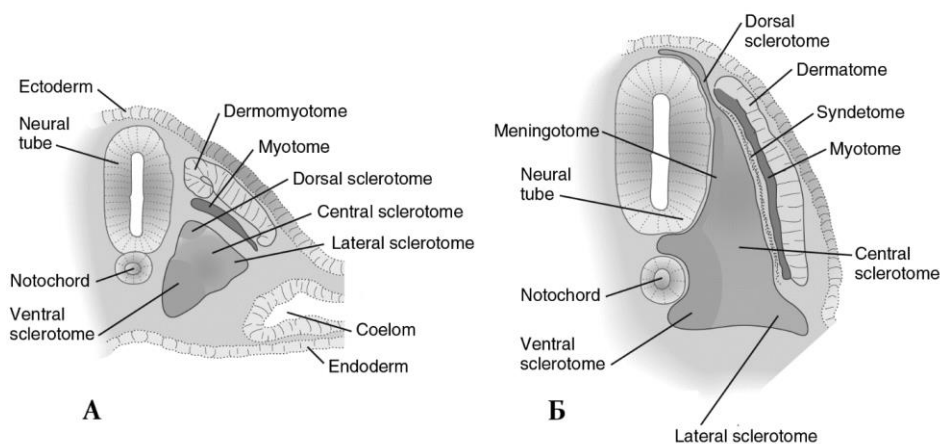


Рис. 3. Склеротом на ранней (А) и поздней (Б) стадиях развития.

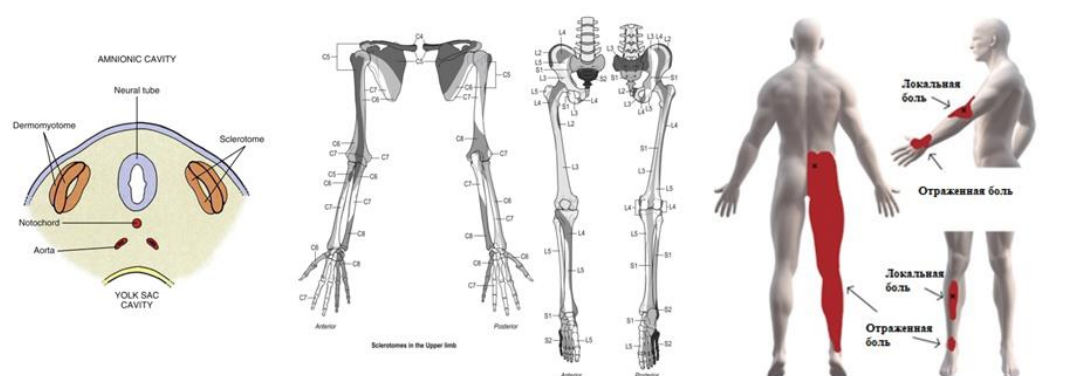
Латеральный склеротом является зачатком для дистальных частей ребер, некоторых сухожилий; дорсальный – дорсальной части дуг и остистых отростков позвонков;

центральный – поперечных отростков, ножек и ventральных частей дуг позвонков, проксимальных частей ребер; медиальный (менинготом) – мозговых оболочек и кровеносных сосудов мозговых оболочек позвоночника; ventральный – тел позвонков и межпозвонковых дисков [35].

Ввиду того, что в понятие СБ включают боль, исходящую (источник СБ, локальная соматическая боль) и ощущаемую (собственно отраженная склеротомная боль) в пределах структур опорно-двигательного аппарата, то между источником и местом СБ, а также между соматическими тканями в месте СБ, гипотетически предполагается связь, согласно их происхождению из одного и того же тканевого зачатка эмбриона – склеротома, и некая «эмбриональная память» о своем происхождении, объясняющая возникновение СБ. В настоящее время не существует доказательств, которые глобально подтверждают или опровергают эти предположения, но имеются факты логических нестыковок в эмбриологическом подходе к объяснению патогенеза СБ.

Во-первых, нужно отметить, что правомочность включения мышц и связок в описание СБ является сомнительной. Мышцы не могут быть объединены эмбриологическим происхождением с костями и связками в пределах именно склеротома. На ранних этапах развития эмбриона существуют общие клетки-предшественницы для всего опорно-двигательного аппарата – клетки сомита, из которых далее образуется дерматомиотом и склеротом, то есть, когда склеротом сформирован, его клеточный пул уже отделен от клеток-предшественниц мышц. Сказанное дает формальный повод говорить скорее не о СБ, а о сомитной боли, если бы таковая была когда-нибудь постулирована. Но, так как сомит содержит еще и клетки-предшественницы для дермы, которая не входит в опорно-двигательный аппарат, то идея эмбриологического единства на стадии сомита структур опорно-двигательного аппарата является не логичной (рис. 3). Синдетом также является отдельным клеточным пулом, который состоит из клеток-предшественниц для связочного аппарата.

Во-вторых, если проследить в какие клетки и структуры превращается склеротом в сформированном организме, то выясняется, что он образует позвонки, фиброзное кольцо межпозвонковых дисков, ребра, затылочную кость (из так называемых затылочных сомитов, состоящая из клеток, идентичных склеротомным), а не весь опорно-двигательный аппарат. Интересно, что «склеротом Инмана и Сондерса», который включает только кости конечностей, таза и лопатки, развивается из латеральной мезодермы стенки тела и дермы (часть лопатки), а не из склеротома.



1) sclerotome
эмбриональный зачаток
костей и хрящей
позвочника, ребер,
межпозвонковых дисков и
фасеточных суставов

2) sclerotome - структура тела с
сегментарной иннервацией,
предполагалась теоретически в
дополнении к дерматому и
миотому. Термин ввел Immanand и
Saunders (1944) на основании зон
локализации болей при
раздражении тканей опорно-
двигательного аппарата

3) sclerotome pain (referral)
зона распространения
склеротомных болей термин в
Таксономии представлен
отраженной соматической болью

Рис. 4. Омонимы и полисемия «sclerotome».

Результатом развития представлений о склеротоме в разных аспектах привело к многоплановому пониманию терминов, где используется слово «sclerotome». Омонимы и полисемия «sclerotome» создает дополнительные трудности при их использовании в контексте склеротома и СБ (рис. 4).

Несмотря на то, что бурный экспериментальный интерес в том виде, который был до 60-х годов 20 века к отраженным соматическим болям в общем, и к СБ – в частности, почти сошел на нет [37], в ближайшем будущем нас ждет новый виток открытий в этой области знаний. Современные методы генетической идентификации клеточных элементов в нервной системе, экспериментальных моделей, компьютерной симуляции процессов, вероятно, уже в скором времени прольют свет на загадку склеротома и СБ.

Сведения о финансировании исследования и о конфликте интересов.

Исследование не имело финансовой поддержки.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов.

Вишнякова Е.М. – 80% (разработка концепции, анализ литературы по теме исследования, техническое редактирование, написание текста статьи).

Широков В.А. – 20% (научное редактирование, утверждение окончательного текста статьи).

Список литературы:

1. Bogduk N. On the definitions and physiology of back pain, referred pain, and radicular pain. *Pain*. 2009. 147(1-3). 17-19. doi: 10.1016/j.pain.2009.08.020.
2. McCall I.W., Park W.M., O'Brien J.P. Induced pain referral from posterior lumbar elements in normal subjects. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1979. 4(5). 441-446. doi: 10.1097/00007632-197909000-00009.
3. Falace D.A., Reid K., Rayens M.K. The influence of deep (odontogenic) pain intensity, quality, and duration on the incidence and characteristics of referred orofacial pain. *J Orofac Pain*. 1996. 10. 232–9.
4. Kellgren J.H. Observations on referred pain arising from muscle. *Clin Sci*. 1938. 3. 175–90.
5. Graven-Nielsen T. Mechanisms and manifestations in musculoskeletal pain: from experimental to clinical pain settings. *Pain*. 2022. 163(Suppl 1). S29-S45. doi: 10.1097/j.pain.0000000000002690.
6. Whitty C.W., Willison R.G. Some aspects of referred pain. *Lancet*. 1958. 2. 226–31.
7. Harman J.B. The localization of deep pain. *Br Med J*. 188–92.
8. Laursen R.J., Graven-Nielsen T., Jensen T.S., Arendt-Nielsen L. The effect of compression and regional anesthetic block on referred pain intensity in humans. *Pain*. 1999. 80(1-2). 257-263. doi:10.1016/s0304-3959(98)00214-0.
9. International Association for the Study of Pain (IASP). Recommendations for Pain Treatment Services. Access on 14 March. 2011. http://www.iasppain.org /AM/Template.cfm?Section=Pain_Treatment_Facilities.
10. Slipman C.W., Plastaras C.T., Palmitier R.A., Huston C.W., Sterenfeld E.B. Symptom provocation of fluoroscopically guided cervical nerve root stimulation. Are dynatomal maps identical to dermatomal maps? *Spine (Phila Pa 1976)*. 1998. 23(20). 2235-2242. doi: 10.1097/00007632-199810150-00019.
11. Inman V.T., Saunders J.B.D. Referred pain from skeletal structures. *The Journal of Nervous and Mental Disease*. 1944. 99. 660-7.
12. Leoni D., Falla D., Heitz C., et al. Test-retest Reliability in Reporting the Pain Induced by a Pain Provocation Test: Further Validation of a Novel Approach for Pain Drawing Acquisition and Analysis. *Pain Pract*. 2017. 17(2). 176-184. doi: 10.1111/papr.12429.
13. Bogduk N. The physiology of deep somatic pain. *Australasian Musculoskeletal Medicine*. 2002. 7. 6-15.

14. Slipman C.W., Derby R., Simeone F.A., Mayer T.G. Interventional Spine: An Algorithmic Approach. 2007. 613-20.
15. Seffinger M. Foundations of Osteopathic Medicine: philosophy, science, clinical applications, and research. 4th Edition. Philadelphia. LWW. 2019. 1024 p.
16. Ballantyne J.C., Fishman S.M., Rathmell J.P. Bonica's Management of Pain. 5th Edition. Philadelphia. LWW. 2018. 1896 p.
17. Graven-Nielsen T. Mechanisms and manifestations in musculoskeletal pain: from experimental to clinical pain settings. *Pain*. 2022. 163(Suppl 1). S29-S45. doi: 10.1097/j.pain.0000000000002690.
18. Hockaday J.M., Whitty C.W.M. Patterns of referred pain in the normal subject. *Brain*. 1967. 90. 481–96.
19. Déjerine, J. *Sémiologie des affections du système nerveux*. 2th Edition. Vol 1-2. Paris. Masson. 1926. 1219 p.
20. Gebhart G.F., Schmidt R.F. editors. *Encyclopedia of Pain*. Berlin Heidelberg. Springer-Verlag. 2013. 4425 p.
21. Stecco C., Pirri C., Fede C., et al. Dermatome and fasciatome. *Clin Anat*. 2019. 32(7). 896-902. doi: 10.1002/ca.23408.
22. Rigoard Ph. *Atlas of anatomy of the peripheral nerves. The Nerves of the Limbs*. Switzerland. Springer International Publishing. 2017. 28-32.
23. Schirmer C.M., Shils J.L., Arle J.E., et al. Heuristic map of myotomal innervation in humans using direct intraoperative nerve root stimulation. *J Neurosurg Spine*. 2011. 15(1). 64-70. doi: 10.3171/2011.2. SPINE1068.
24. Gebhart G.F., Schmidt R.F. editors. *Encyclopedia of Pain*. Berlin Heidelberg. Springer-Verlag. 2013. 4425 p.
25. Cousins M.J., Bridenbaugh P.O. *Clinical Anesthesia and Management of Pain*. Lippincott-Raven. Philadelphia. 1998. 879-914.
26. Hoheisel U., Mense S., Simons DG., Yu XM. Appearance of new receptive fields in rat dorsal horn neurons following noxious stimulation of skeletal muscle: a model for referral of muscle pain? *Neurosci Lett*. 1993. 153(1). 9-12. doi:10.1016/0304-3940(93)90064-r.
27. Diatchenko L, Parisien M., Esfahani J. Omics approaches to discover pathophysiological pathways contributing to human pain. *Pain*. 2022. 163. 69-S78. doi: 10.1097/j.pain.0000000000002726.
28. Boyle K., Gradwell M., Yasaka T., et al. Defining a Spinal Microcircuit that Gates Myelinated Afferent Input: Implications for Tactile Allodynia Article Defining a Spinal Microcircuit that Gates Myelinated Afferent Input: Implications for Tactile Allodynia. *Cell Reports*. 2019. 28. 526-540. doi: 10.1016/j.celrep.2019.06.040.
29. Russ D., Cross R., Li, Li, et al. A harmonized atlas of mouse spinal cord cell types and their spatial organization. *Nature Communications*. 2021. 12. 5722. doi: 10.1038/s41467-021-25125-1.
30. Häring M., Zeisel A., Hochgerner H., et al. Neuronal atlas of the dorsal horn defines its architecture and links sensory input to transcriptional cell types. *Nat Neurosci*. 2018. 21. 869–880. doi: 10.1038/s41593-018-0141-1.
31. Kennedy H., Van Essen D., Christen Y. *Micro-, Meso- and Macro-Connectomics of the Brain*. Springer. 2016 p. doi: 27910.1007/978-3-319-27777-6.
32. Slipman C.W., Plastaras C.T., Palmitier R.A., Huston C.W., Sterenfeld E.B. Symptom provocation of fluoroscopically guided cervical nerve root stimulation. Are dynatomal maps identical to dermatomal maps? *Spine (Phila Pa 1976)*. 1998. 23(20). 2235-2242. doi: 10.1097/00007632-199810150-00019.
33. Murphy D.R., Hurwitz E.L, Gerrard J.K., Clary R. Pain patterns and descriptions in patients with radicular pain: Does the pain necessarily follow a specific dermatome? *Chiropractic and Osteopathy*. 2009. 17(9). 1-9. doi: 10.1186/1746-1340-17-9.
34. Bove, G., & Light, A. (1997). The nervi nervorum: Missing link for neuropathic pain? *Pain Forum*, 6, 181–190.

35. Han D.G. On the segmental and tagmatic phenomena inferred from referred pain and autonomic concomitants. *Med Hypotheses*. 2010. 74(4). 729-31. doi: 10.1016/j.mehy.2009.10.053.
36. Carlson B.M. *Human Embryology and Developmental Biology: With Student consult Online Access*. 6th Edition. USA. Elsevier. 2018. 496 p.
37. Гаде Ф. Сегментарная иннервация: графический синтез соответствий между дерматомами, миотомами, склеротомами и висцеротомами. Систематический обзор научных работ и публикаций о дерматомах, миотомах, склеротомах и висцеротомах для разработки графического синтеза соматовисцеральных соответствий. *Российский остеопатический журнал*. 2019. 3–4 (46-47). 150–163. doi: 10.32885/2220-0975-2019-3-4-150-163.

References:

1. Bogduk N. On the definitions and physiology of back pain, referred pain, and radicular pain. *Pain*. 2009. 147(1-3). 17-19. doi: 10.1016/j.pain.2009.08.020.
2. McCall I.W., Park W.M., O'Brien J.P. Induced pain referral from posterior lumbar elements in normal subjects. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1979. 4(5). 441-446. doi: 10.1097/00007632-197909000-00009.
3. Falace D.A., Reid K., Rayens M.K. The influence of deep (odontogenic) pain intensity, quality, and duration on the incidence and characteristics of referred orofacial pain. *J Orofac Pain*. 1996. 10. 232–9.
4. Kellgren J.H. Observations on referred pain arising from muscle. *Clin Sci*. 1938. 3. 175–90.
5. Graven-Nielsen T. Mechanisms and manifestations in musculoskeletal pain: from experimental to clinical pain settings. *Pain*. 2022. 163(Suppl 1). S29-S45. doi: 10.1097/j.pain.0000000000002690.
6. Whitty C.W., Willison R.G. Some aspects of referred pain. *Lancet*. 1958. 2. 226–31.
7. Harman J.B. The localization of deep pain. *Br Med J*. 188–92.
8. Laursen R.J., Graven-Nielsen T., Jensen T.S., Arendt-Nielsen L. The effect of compression and regional anesthetic block on referred pain intensity in humans. *Pain*. 1999. 80(1-2). 257-263. doi:10.1016/s0304-3959(98)00214-0.
9. International Association for the Study of Pain (IASP). Recommendations for Pain Treatment Services. Access on 14 March. 2011. http://www.iasppain.org /AM/Template.cfm?Section=Pain_Treatment_Facilities.
10. Slipman C.W., Plastaras C.T., Palmitier R.A., Huston C.W., Sterenfeld E.B. Symptom provocation of fluoroscopically guided cervical nerve root stimulation. Are dynatomal maps identical to dermatomal maps? *Spine (Phila Pa 1976)*. 1998. 23(20). 2235-2242. doi: 10.1097/00007632-199810150-00019.
11. Inman V.T., Saunders J.B.D. Referred pain from skeletal structures. *The Journal of Nervous and Mental Disease*. 1944. 99. 660-7.
12. Leoni D., Falla D., Heitz C., et al. Test-retest Reliability in Reporting the Pain Induced by a Pain Provocation Test: Further Validation of a Novel Approach for Pain Drawing Acquisition and Analysis. *Pain Pract*. 2017. 17(2). 176-184. doi: 10.1111/papr.12429.
13. Bogduk N. The physiology of deep somatic pain. *Australasian Musculoskeletal Medicine*. 2002. 7. 6-15.
14. Slipman C.W., Derby R., Simeone F.A., Mayer T.G. *Interventional Spine: An Algorithmic Approach*. 2007. 613-20.
15. Seffinger M. *Foundations of Osteopathic Medicine: philosophy, science, clinical applications, and research*. 4th Edition. Philadelphia. LWW. 2019. 1024 p.
16. Ballantyne J.C., Fishman S.M., Rathmell J.P. *Bonica's Management of Pain*. 5th Edition. Philadelphia. LWW. 2018. 1896 p.
17. Graven-Nielsen T. Mechanisms and manifestations in musculoskeletal pain: from experimental to clinical pain settings. *Pain*. 2022. 163(Suppl 1). S29-S45. doi: 10.1097/j.pain.0000000000002690.
18. Hockaday J.M., Whitty C.W.M. Patterns of referred pain in the normal subject. *Brain*. 1967. 90. 481–96.

19. Déjerine, J. *Sémiologie des affections du système nerveux*. 2th Edition. Vol 1-2. Paris. Masson. 1926. 1219 p.
20. Gebhart G.F., Schmidt R.F. editors. *Encyclopedia of Pain*. Berlin Heidelberg. Springer-Verlag. 2013. 4425 p.
21. Stecco C., Pirri C., Fede C., et al. Dermatome and fasciatome. *Clin Anat*. 2019. 32(7). 896-902. doi: 10.1002/ca.23408.
22. Rigoard Ph. *Atlas of anatomy of the peripheral nerves. The Nerves of the Limbs*. Switzerland. Springer International Publishing. 2017. 28-32.
23. Schirmer C.M., Shils J.L., Arle J.E., et al. Heuristic map of myotomal innervation in humans using direct intraoperative nerve root stimulation. *J Neurosurg Spine*. 2011. 15(1). 64-70. doi: 10.3171/2011.2.SPINE1068.
24. Gebhart G.F., Schmidt R.F. editors. *Encyclopedia of Pain*. Berlin Heidelberg. Springer-Verlag. 2013. 4425 p.
25. Cousins M.J., Bridenbaugh P.O. *Clinical Anesthesia and Management of Pain*. Lippincott-Raven. Philadelphia. 1998. 879-914.
26. Hoheisel U., Mense S., Simons DG., Yu XM. Appearance of new receptive fields in rat dorsal horn neurons following noxious stimulation of skeletal muscle: a model for referral of muscle pain? *Neurosci Lett*. 1993. 153(1). 9-12. doi:10.1016/0304-3940(93)90064-r.
27. Diatchenko L, Parisien M., Esfahani J. Omics approaches to discover pathophysiological pathways contributing to human pain. *Pain*. 2022. Volume 163. S69-S78. doi: 10.1097/j.pain.0000000000002726.
28. Boyle K., Gradwell M., Yasaka T., et al. Defining a Spinal Microcircuit that Gates Myelinated Afferent Input: Implications for Tactile Allodynia Article Defining a Spinal Microcircuit that Gates Myelinated Afferent Input: Implications for Tactile Allodynia. *Cell Reports*. 2019. 28. 526-540. doi: 10.1016/j.celrep.2019.06.040.
29. Russ D., Cross R., Li, Li, et al. A harmonized atlas of mouse spinal cord cell types and their spatial organization. *Nature Communications*. 2021. 12. 5722. doi: 10.1038/s41467-021-25125-1.
30. Häring M., Zeisel A., Hochgerner H., et al. Neuronal atlas of the dorsal horn defines its architecture and links sensory input to transcriptional cell types. *Nat Neurosci*. 2018. 21. 869–880. doi: 10.1038/s41593-018-0141-1.
31. Kennedy H., Van Essen D., Christen Y. *Micro-, Meso- and Macro-Connectomics of the Brain*. Springer. 2016 p. doi: 27910.1007/978-3-319-27777-6.
32. Slipman C.W., Plastaras C.T., Palmitier R.A., Huston C.W., Sterenfeld E.B. Symptom provocation of fluoroscopically guided cervical nerve root stimulation. Are dynatomal maps identical to dermatomal maps? *Spine (Phila Pa 1976)*. 1998. 23(20). 2235-2242. doi: 10.1097/00007632-199810150-00019.
33. Murphy D.R., Hurwitz E.L., Gerrard J.K., Clary R. Pain patterns and descriptions in patients with radicular pain: Does the pain necessarily follow a specific dermatome? *Chiropractic and Osteopathy*. 2009. 17(9). 1-9. doi: 10.1186/1746-1340-17-9.
34. Bove, G., & Light, A. (1997). The nervi nervorum: Missing link for neuropathic pain? *Pain Forum*, 6, 181–190.
35. Han D.G. On the segmental and tagmatic phenomena inferred from referred pain and autonomic concomitants. *Med Hypotheses*. 2010. 74(4). 729-31. doi: 10.1016/j.mehy.2009.10.053.
36. Carlson B.M. *Human Embryology and Developmental Biology: With Student consult Online Access*. 6th Edition. USA. Elsevier. 2018. 496 p.
37. Gadet Ph. Segmental innervation: a graphic synthesis of correspondence between dermatomes, myotomes, sclerotomes and viscerotomes. Systematic review of existing works and publications about dermatomes, myotomes, sclerotomes and viscerotomes aimed to design a graphic synthesis of somato-visceral correspondences. *Russian Osteopathic Journal*. 2019. 3–4 (46–47). 150–163. in Russian. doi: 10.32885/2220-0975-2019-3-4-150-163.