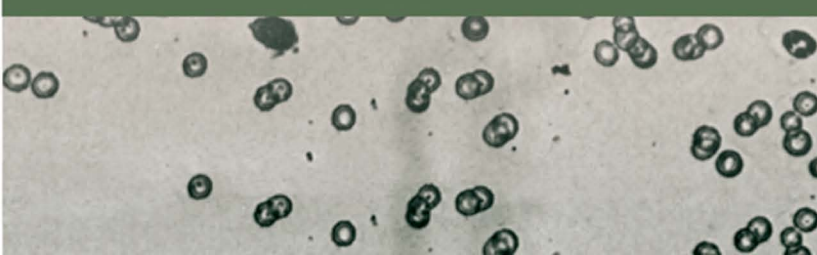
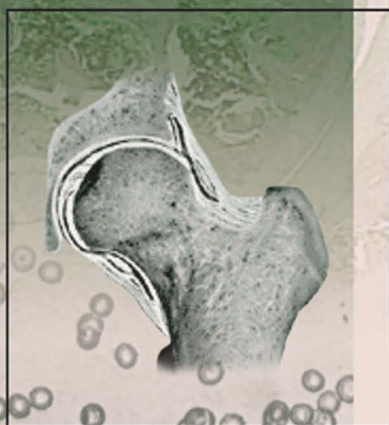




Л. С. Пинчук, Ю. М. Чернякова, С. Ф. Ермаков

Трибофизика синовиальной жидкости



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого

Л. С. Пинчук, Ю. М. Чернякова, С. Ф. Ермаков

Трибофизика синовиальной жидкости



Минск
«Беларуская навука»
2010

УДК 612.75

Пинчук, Л. С. Трибофизика синовиальной жидкости / Л. С. Пинчук, Ю. М. Чернякова, С. Ф. Ермаков. – Минск : Беларус. навука, 2010. – с. ISBN 978-985-08-1214-8.

В монографии обобщен новый экспериментальный материал о пространственной, иерархически организованной структуре и биофизических свойствах синовиальной жидкости. Рассмотрены физико-химические механизмы адсорбционного взаимодействия синовиальной жидкости и системы сообщающихся микропор хряща, которое происходит в биофизическом поле сустава. Приведены результаты, свидетельствующие о том, что структура синовиальной жидкости проявляет признаки дальнего порядка как необходимого условия для выполнения ею трибологической, метаболической, трофической и защитной функций в суставе. Новые данные о взаимосвязи структурных параметров и функциональных возможностей синовиальной жидкости позволили разработать оригинальные пути хондропротекции, в частности, связанные с использованием препаратов крови.

Книга адресована биофизикам, биохимикам, ортопедам, а также материаловедам и трибологам, работающим на стыке медицинских и технических наук.

Табл. 22. Ил. 55. Библиогр.: 403 назв.

Р е ц е н з е н т ы:

заслуженный деятель науки БССР,
доктор медицинских наук, профессор И. Р. Воронович,
доктор технических наук А. Я. Григорьев

ISBN 978-985-08-1214-8

© Пинчук Л. С., Чернякова Ю. М.,
Ермаков С. Ф., 2010

© Оформление. РУП «Издательский дом
«Беларуская навука», 2010

ВВЕДЕНИЕ

Сустав – подвижное соединение костей, позволяющее им перемещаться относительно друг друга. Суставы конечностей, загерметизированные в суставной капсуле, получили название синовиальных. Они обеспечивают рекордно низкое трение и компенсацию износа подвижно контактирующих суставных концов костей. Благодаря синовиальным суставам двигательная активность человека сохраняется в течение всей его жизни. Столь длительная работа узла трения предполагает наличие в нем оптимальной системы смазки.

Смазочной средой суставов служит синовиальная жидкость, которая содержится в суставе в незначительном количестве, но очень эффективно уменьшает трение и предохраняет покрытые хрящом контактные поверхности костей от истирания. Это свидетельствует о том, что система смазки здорового сустава близка к идеальной, а синовиальная жидкость характеризуется очень высокой смазочной способностью. Синовиальная жидкость выполняет в суставе не только трибологическую функцию. Она питает ткани сустава и является транспортной средой, перемещающей продукты износа из суставной полости в лимфатическое русло, а также содержит клеточные элементы, ферменты и иммунокомпетентные агенты, которые подавляют жизнедеятельность чужеродных клеток и веществ, проникших в сустав.

Именно поэтому структурные параметры синовиальной жидкости служат одним из показателей для суждения о нормальном или патологическом состоянии суставов и о заболеваниях соединительной ткани. Клеточный состав синовии поддается дифференцированному количественному учету и характеризует состояние

сустава. Тем не менее, синовиальной жидкости как уникальной по структуре, свойствам и функциям части организма человека в медицинской литературе уделено недостаточно внимания. Последняя русскоязычная монография на эту тему – книга В. Н. Павловой «Синовиальная среда суставов», в которой аккумулированы не потерявшие актуальности до сегодняшнего дня фундаментальные знания о синовии, – издана в 1980 г. и давно стала раритетом. Это в значительной мере обусловило редкое использование аналитического подхода к изучению синовиальной жидкости в практике ортопедии. Более того, в последние 50 лет определяющей тенденцией мировой ортопедии стала методология лечения суставов преимущественно хирургическими методами с широким применением эндопротезов.

Многолетний опыт эндопротезирования суставов и объективная оценка его результатов привели к тому, что на рубеже XX–XXI вв. внимание ортопедов вновь обратилось на консервативные методы лечения суставов. Важнейшим фактором работоспособности сустава, как и любого узла трения, является состояние поверхностей трения, т. е. поверхностей суставного хряща, а также условия его смазки и питания. Современной тенденцией ортопедии стала хондропротекция – комплекс лечебно-профилактических мероприятий, направленных на поддержание физиологической регенерации хряща, нормального обмена между суставом и сосудистыми руслами организма и в итоге – на защиту хряща от деструкции и изнашивания. В решении этой комплексной проблемы важная роль принадлежит синовиальной жидкости, как подвижной среде, осуществляющей массообмен между элементами сустава и объединяющей их в единую биофизическую и биохимическую систему.

С конца XX в. стали интенсивно развиваться методы хондропротекции с помощью искусственных синовиальных жидкостей. Стимулом для этого были противопоказания для эндопротезирования, а также осознание того факта, что необходимость эндопротезирования во многих случаях возникла из-за невнимания к трибологическому состоянию суставов, пораженных остеоартритами. Появилось множество заменителей синовиальной жидкости, вначале – на основе искусственных полимеров, затем – на основе

сырья животного происхождения. К сожалению, наличие в таких препаратах чужеродных белков и недостаточная биосовместимость обусловили возникновение побочных эффектов и во многих случаях – сомнительную достоверность эффективности лечения. В настоящее время, когда миллионы людей на Земле страдают заболеваниями суставов, теряя трудоспособность, хондропротекция стала глобальной социальной проблемой, на которую обратили внимание ВОЗ и ООН.

Синовиальная жидкость имеет многокомпонентный химический состав, в который входят низкомолекулярные минеральные и высокомолекулярные органические вещества. Соединение в синовиальной жидкости столь разнородных ионов, атомов и молекул предполагает иерархическую многоуровневую структуру этой среды. Она необходима для выполнения синовиальной жидкостью своих функций и для активного реагирования на изменения состояния сустава путем перестройки структуры на соответствующих уровнях. Это обуславливает практическую неисчерпаемость свойств синовиальной жидкости и придает синовиальному суставу черты кибернетической системы, которая воспринимает информацию о состоянии тканей, хрящевых поверхностей и о патологических процессах в суставе, активно реагирует на нее изменением структуры синовиальной жидкости и обменивается информацией с центрами симпатической нервной системы организма.

За последние десятилетия накоплен обширный экспериментальный материал о новых свойствах синовиальной жидкости, прежде всего, о ее чувствительности к действию физических полей, источником которых является живой организм. Возникновение электрического напряжения на клеточной мембране объясняет теория, предложенная английским физиологом, лауреатом Нобелевской премии А. Ходжкиным (А. Hodgkin). Разность потенциалов на мембранах невозбужденных клеток (потенциал покоя) возникает вследствие полупроницаемости мембран и неравномерного распределения ионов между клеткой и ее окружением. Для мышечных и нервных клеток подвижного сустава характерно существование потоков ионов в обе стороны через мембрану. Протекание в тканях сустава электрических ионных токов порож-

дает магнитные, а точнее – биомагнитные поля. Их источниками могут быть также части сустава, отличающиеся параметрами магнитной восприимчивости, поля ферромагнитных частиц и парамагнитных веществ, находящихся в тканях сустава. Источником магнитных полей при движениях сустава являются сочлененные в суставе кости, проявляющие пьезоэлектрический эффект. Таким образом, синовиальная жидкость выполняет свои функции в электромагнитном биополе сустава. Она содержит чувствительные к нему структуры.

Происхождение синовиальной жидкости из крови было установлено в XVIII в. Ее основу составляет трансудат (фильтрат) крови, просачивающейся через стенки капилляров в синовиальную оболочку. Его обязательным компонентом являются липиды – обширная группа природных органических соединений, включающая жиры и жироподобные вещества. Фосфолипиды – сложные липиды, содержащие фосфорную кислоту, – входят в состав мембраны живой клетки. Уникальным свойством липидов является температурный переход, в котором их углеводородные цепи, находящиеся в кристаллоподобном состоянии геля, переходят в менее упорядоченное жидкокристаллическое состояние. В 1970-е гг. D. Charman обнаружил, что содержащийся во всех биологических жидкостях человека холестерин регулирует текучесть жидкокристаллической фазы липидов в области физиологических температур. В 1980-е гг. белорусские ученые В. А. Белый и Б. И. Купчинов с коллегами экспериментально показали, что липидно-холестериновая жидкокристаллическая фаза синовиальной жидкости обуславливает ее повышенную смазочную способность. Биофизическое поле сустава регулирует перемещение синовии в полости сустава и распределение смазочной прослойки по поверхности хряща, оптимальное по критерию наименьшего трения. Это возможно потому, что синовия обладает свойствами квазиэлектрета. Такой эффект, обнаруженный в конце 1990-х гг., обуславливает направленное распределение свободных носителей заряда и электрически неравновесных структур синовиальной жидкости в смазочной прослойке суставной щели под действием биополя сустава. Таким образом регулируется смачивание синовией поверхности

хряща и электростатическое удержание смазочной прослойки в зоне трения. Изучение эффектов взаимодействия синовии как квазиэлектретной жидкокристаллической среды и электромагнитного биополя сустава – новая тенденция ортопедии. Она обусловила концепцию синовиального сустава как «умного» узла трения, реагирующего на изменения условий трения и смазки коррекцией, во-первых, состава и структуры синовии, во-вторых, распределения биофизического поля на поверхностях хряща и в тканях суставной капсулы. «Умный» узел трения снабжен системой обратной связи с центрами симпатической нервной системы, регулирующими обмен веществ, сужение-расширение сосудов кровеносного и лимфатического русел.

Несмотря на это, препараты крови до недавнего времени не применяли для лечения суставов. Только в 2000-х гг. возникло и стало развиваться направление хондропротекции, связанное с использованием сыворотки крови как основы лекарственных средств, вводимых путем инъекции в полость сустава.

Цель публикации этой книги состоит в ознакомлении ортопедов, физиологов, биофизиков, биохимиков и инженеров, работающих на стыке медицинских и технических наук, с новым пониманием функционирования сустава как «умного» узла трения и биофизическими механизмами взаимодействия синовиальной жидкости и тканей сустава посредством электромагнитного биополя сустава. Эти представления составили основу методологии трансфузионной хондропротекции синовиальных суставов, положения которой и первые результаты клинического применения изложены в книге.

Авторы благодарны профессору С. И. Болтрукевичу, руководителю Гродненского центра травматологии и ортопедии, коллегам по работе в Институте механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси, Гомельском государственном медицинском университете, Гомельских областной и первой городской клинических больниц, участвовавшим в проведении первых экспериментов и клинических испытаний методов трансфузионной хондропротекции.

СИНОВИАЛЬНЫЙ СУСТАВ

В современной артрологии – разделе медицины, изучающем суставы и их заболевания, – сложились представления о функциональном и морфогенетическом единстве синовиальной жидкости (СЖ), синовиальной оболочки (СО) и суставного хряща. Общность происхождения и функционирования элементов сустава как единой биофизической системы отражена во всех современных артрологических исследованиях [1–3].

Совокупность терминов и определений, которые используют для описания взаимосвязи СЖ и других элементов сустава, удобно систематизировать, рассматривая хронологию развития представлений артрологии о биомеханическом функционировании суставов. Поэтому структура этой главы представляет собой серию взаимосвязанных параграфов, содержащих ретроспективные обзоры по анатомии суставов, взаимодействию их элементов, функциям СЖ, по механизму смазки суставов. Такое изложение, на наш взгляд, позволяет осознать причинно-следственную связь основных понятий артрологии и явлений, сопровождающих биомеханические процессы трения, смазки и изнашивания синовиальных суставов.

Термины, определения которых даны в этой главе, использованы при последующем описании состава, свойств, патологических состояний и методов исследования синовиальной среды сустава. Выстраивая иерархическую структуру понятий артрологии, авторы отдавали предпочтение терминам, включенным в энциклопедические издания по медицине и биофизике.

1.1. Ретроспекция

Термин «синовия» ввел в артрологию древнегреческий врач, реформатор античной медицины Гиппократ (400-е годы до н. э.). Под синовией (впервые термин был представлен в греческой транскрипции) он имел в виду суставную жидкость, т. е. слизистое содержимое сустава.

Живший в Средней Азии и Иране философ и врач Ибн Сина (латинизир. – Авиценна) в начале 1000-х годов н. э. создал энциклопедию теоретической и клинической медицины «Канон врачебной науки». Суставную жидкость он описал в разделе «О соках» как «естественную сладкую слизь», которая имеет сходство с кровью. Слизь смачивает малоподвижные члены и суставы, чтобы они не были сухими вследствие трения [4].

Французский врач и анатом А. Везалий (лат. A. Vesalius), основоположник анатомии, при описании в 1543 г. сочленений костей упоминал «клеякую скользкую влагу, наподобие смазки» и «слизистую тягучую суставную жидкость – *plica synovialis*» [5].

Термин «синовия» использовал в эпоху Возрождения немецкий врач и естествоиспытатель Парацельс (Paracelsus, настоящее имя – Ф. А. Т. Б. фон Гогенхейм, von Gogenheim), один из основателей ятрохимии – направления в медицине XVI–XVIII вв., согласно которому все процессы, происходящие в организме, представляют собой химические явления. Болезни суставов он считал нарушениями химического равновесия в суставной полости.

В средние века термин «синовия» был предан забвению. Анатомы называли суставную жидкость «членосоединительным соком», «членосуставной влагой», «членовой слизью».

В 1692 г. английский анатом К. Гаверс (C. Havers) обнаружил в суставе слизистые железы, которые, по его мнению, продуцируют СЖ, получившие название «гаверсовы железы» («Haversian glands»). Термин «синовиальная оболочка» впервые употребил в 1763 г. голландский врач Р. Бонн (R. Bonn). До него и Гаверса оболочку, выстилающую полость сустава, называли «capsular ligament».

Во второй половине XVIII в. усилиями практикующих врачей сформировалось представление о суставе как о естественной

трибосистеме (трибология – наука о трении, износе и смазке), включающей СО и СЖ. В 1758 г. немецкий хирург И. Платнер (J. Platner) опубликовал книгу «Основательные наставления хирургические», которую перевел на русский язык известный анатом того времени М. Шеин. В ней описаны окружающие сустав «плевные связки», а СЖ названа «мокротой», которая «белку подобна, солоната, на воздухе застывает». Ее источниками Платнер считал: 1) упомянутые «плевные связки», 2) «великие» железы, где она якобы смешивается с жиром, 3) «концы самых малейших жил». Под последними он имел ввиду кровеносные капилляры, через которые фильтруется жидкая фаза – основа СЖ. Платнер предполагал, что «часть мокроты поглощается кровевозвратными жилами (т. е. венами) и по всему телу разносится». Это было первым упоминанием о массообмене между суставами и сосудами [6].

К началу XIX в. СО стали представлять в анатомических и медицинских изданиях как пленочную структуру с характерными морфологическими и функциональными признаками. Главным из них было наличие в оболочке кровеносных сосудов и, как тогда считали, слизистых желез, выделяющих «суставный сок». В 1801 г. французский анатом и гистолог К. Биша (X. Bishat) подверг сомнению наличие в суставах слизистых оболочек. Он утверждал, что за них ошибочно принимали жировые складки. Биша отнес синовиальные покровы суставов в группу серозных, т. е. сывороточных (от лат. *serum* – сыворотка) оболочек. После этого понятие «синовиальная оболочка» прочно вошло в анатомическую терминологию. СО стали представлять как разновидность серозных оболочек, выстилающих внутренние полости тела человека и вырабатывающих серозную жидкость, которая облегчает перемещения внутренних органов и выполняет защитную функцию. Все серозные оболочки – брюшина, плевра, перикард и др. – состоят из плотной волокнистой соединительной ткани, покрытой эпителием – пластом тесно расположенных клеток. Не вызывало сомнения, что ткань СО богата снабжена кровеносными сосудами, однако лимфатические сосуды в ней не были найдены. В начале XIX в. было установлено, что иннервация

(связь с нервной системой) СО осуществляется ветвями спинальных нервов. Один из крупнейших анатомов того времени австрийский врач Й. Хиртль (J. Hyrtle) утверждал, что от состояния СО зависит функциональное состояние всего сустава. В результате изучения химического и клеточного состава СЖ крупного рогатого скота была обнаружена зависимость ее структуры от функциональной нагрузки на конечности.

В 1870-х гг. представления о синовиальном покрове сустава как о серозной оболочке были подвергнуты сомнению. Сначала немецкий анатом В. Гис (W. His) обнаружил, что клеточный слой, покрывающий изнутри капсулу сустава, существенно отличается от эпителиального. Для обозначения этого слоя, аналогичного слою, выстилающему полость сосудов, он предложил термин «эндотелий». Затем выяснилось, что СО не имеет ни эпителиального, ни эндотелиального слоя, а состоит из соединительной хрящеподобной ткани.

Итоги этого плодотворного этапа в изучении суставов подведены в трудах 1882–1883 гг. замечательного российского медика О. Э. Гаген-Торна. Он высказал гипотезу, что кости, хрящи и соединительная ткань суставов развиваются из одного и того же зачатка – среднего зародышевого листка. По его мнению, СО суставов, сухожильных влагалищ и слизистых сумок – рыхлая соединительная ткань, снабженная плотным слоем клеток в поверхностном слое. Она пронизана кровеносными сосудами, нервными волокнами и содержит нервные окончания. По мнению Гаген-Торна, оформленные лимфатические сосуды в СО отсутствуют.

Тем не менее, лимфатические сосуды были обнаружены в СО немецким гистологом Л. Тейхманном (L. Teichmann) в 1891 г. Однако первые результаты их изучения привели исследователей к ошибочному мнению об открытом соединении лимфатических сосудов и суставной полости.

Настойчивые запросы практической медицины стимулировали системные исследования морфологии и физиологических свойств синовиальных покровов суставов. К началу XX в. были получены прямые экспериментальные доказательства проникновения веществ из суставной полости в сосуды и обратно, обнару-

жена своеобразная реакция СО на патологию сустава. В 1920-е гг. были воскрешены давние представления о способности клеток СО секретировать слизистое вещество. Было обнаружено, что влажность и эластичность СО обеспечивают муцины – гликопротеиды (мукопротеиды, сложные белки), входящие в состав СЖ. Голландский физиолог Р. Магнус (R. Magnus) представил доказательства отсутствия открытого сообщения между суставной полостью и лимфатическими сосудами. Американский хирург Дж. Кей (J. Key) на высоком для того времени техническом уровне выполнил (1926–1932 годы) цитологические исследования, позволившие установить клеточный состав СЖ и механизмы рассасывания продуктов износа сустава синовиальными клетками. Большинство последних является, по его мнению, макрофагами, способными к активному захвату и перевариванию бактерий, частиц изнашивания хряща и других чужеродных для организма частиц. Дж. Кей показал нецелесообразность анализа синовии трупов из-за ее посмертных изменений, вызываемых выходом из сосудов большого количества лейкоцитов.

Значительным событием в исследовании синовиальных клеток стали работы австрийского хирурга Е. Вобеля (E. Vaubel). В 1933 г. он пришел к заключению, что покровные синовиальные клетки (по его терминологии – синовиобласты) продуцируют особые вещества, к числу которых он отнес муцин. Он обнаружил удивительный феномен: выращивание СО в культуре тканей сопровождается растворением ее основного (межуточного) вещества. Основное вещество входит в состав неклеточной части соединительной ткани и представляет собой коллоид, образованный мукополисахаридами. Вобель полагал, что подобный процесс растворения происходит в эмбриональном периоде формирования элементов сустава из зародышевого зачатка. По его мнению, во взрослом организме продукты растворения в тканевой жидкости межуточного вещества и хряща являются одним из компонентов СЖ [7].

В 1935 г. в синовиальных клетках был обнаружен комплекс Гольджи (назван по имени итальянского гистолога К. Гольджи, C. Golgi) – органоид (специализированная структура), участвующий

щий в формировании продуктов жизнедеятельности клеток (секретов, липидов, коллагена и др.) и в синтезе гликопротеинов – белков, содержащих углеводные компоненты. Характерно, что крупные исследования 1920–30-х гг., продвинувшие представления о синовиальной среде суставов, принадлежат патологам и клиницистам.

Накопившийся у хирургов, травматологов, ортопедов и патологоанатомов огромный фактический материал нуждался в обобщении. В 1930 г. вышла книга французских хирургов и патологоанатомов Р. Лериха (R. Leriche) и Ф. Поликара (F. Policard) «Хирургическая патофизиология». Авторы утверждали, что СО не является серозной мембраной, а суставная полость представляет собой просто щель в соединительной ткани, состоящей из двух слоев. Слой СО, обращенный внутрь сустава, трансформировался под действием трения и состоит из плоских уплотненных клеток. Он допускает трансудацию (фильтрование) сыворотки крови из капилляров СО в полость сустава, но почти не проницаем для жидкости, находящейся в полости, и выполняет в суставе роль одностороннего барьера. Следующий – сосудистый – слой СО имеет структуру рыхлой ткани, в свободном объеме которой циркулирует лимфа. Именно в нем развиваются асептические и микробные воспаления сустава. Разница в структуре между СО и хрящом несущественна: СО без линии демаркации (разграничения) переходит в хрящ. С этих позиций легко объясним механизм возникновения хондром – доброкачественных опухолей из хрящевой ткани. Сначала в сосудистом слое СО развивается множественная очаговая метаплазия (преобразование тканей организма в другую ткань), затем образовавшиеся узлы выходят в полость сустава, где происходит кальциноз, т. е. отложение в ткани солей кальция.

Одновременно развивались представления о суставе как части тела, взаимосвязанной с мышечной системой и нервными центрами организма. Российский хирург-артролог М. М. Дитерихс в 1937 г. предсказал многие неизвестные в то время свойства элементов сустава, получившие экспериментальное подтверждение гораздо позже. Отмечая, что СО снабжена очень большим числом

кровеносных сосудов, он отвергал наличие «обнаженных» кровеносных капилляров на ее поверхности. Начало лимфатической системы сустава, считал М. М. Дитерихс, – межклеточное вещество уплотненного слоя СО, обращенного в полость сустава. Далее расположены так называемые «соковые каналы», соединенные с сетью лимфатических ходов в сосудистом слое СО. Последние сообщаются с периартикулярными (окружающими сустав) лимфатическими сосудами. Путем клинических наблюдений М. М. Дитерихс установил основные механизмы регуляции суставов. Рефлекторные изменения в элементах сустава происходят, во-первых, в ответ на раздражения, исходящие из самого сустава, во-вторых, при нарушениях в центральной нервной системе, например, при гемиплегии (параличе), перерезке нервов и др. Главными факторами, влияющими на всасывание из сустава продуктов изнашивания, являются: структура всасываемых веществ (молекулярные или коллоидные растворы, взвеси); давление в суставной полости; состояние СО, кровеносного и лимфатического русел, тонус нервной системы [8].

В конце 1930-х годов в Англии был выполнен комплекс морфологических исследований СО с применением методики окраски тканей. В цитоплазме синовиальных клеток были найдены метакроматические (т. е. окрашиваемые в тон, отличающийся от цвета красителя) гранулы, которые оказались гранулами муцина. Их присутствие в синовиальных клетках и сетчатая структура последних, типичная для секретирующих клеток, стали доказательством способности СО к истинной секреции – образованию и выделению особых продуктов – секретов, необходимых для жизнедеятельности сустава. Таким образом была установлена двойственная природа СО как особой соединительной ткани, содержащей секреторные элементы.

Колоссальный опыт хирургических вмешательств при открытых и закрытых повреждениях суставов, накопленный во время Второй мировой войны, включал непосредственные наблюдения СО в разных условиях. Поэтому в последующие годы почти в каждой крупной работе по хирургии и патологии суставов поднимался вопрос о структуре и функциях синовиальных покровов

суставной капсулы. Под термином «синовиальная оболочка» стали понимать совокупность тканей, заключенных между мышцами, периостом (надкостницей), суставной капсулой с одной стороны, и полостью сустава – с другой. В структуре СО стали различать наружный и внутренний (интиму) слой. Установилось мнение, что механическая нагрузка и трение, сопровождающие движение сустава, обусловили десквамацию (слущивание) синовиальных клеток поверхностного слоя СО вместе с участком окружающего их основного вещества. Тем не менее, при нормальном функционировании сустава никогда не происходит обнажения волокнистых элементов СО.

Советский артролог И. П. Каллистов в послевоенные годы изучал коллагеновые эластические волокна СО. В 1947 г. он обнаружил пять слоев оболочки, отличающихся структурой соединительнотканых волокон. Эти структурные отличия возникли, по его мнению, вследствие трения противоположающихся слоев друг о друга [9].

Английский ортопед Д. Девис (D. Davies) впервые связал [10] свойства СЖ с наличием в ней гиалуроновой кислоты (ГУК) – основного компонента муцина. Он установил, что в отличие от обычных фибробластов (основной клеточной формы соединительных тканей), синовиальные клетки участвуют в удалении из полости сустава взвешенных частиц, выделяя протеолитические ферменты, которые катализируют расщепление пептидных связей в белках.

Сложившаяся в первой половине XX в. система взглядов на жизнедеятельность СО нашла отражение в работе [11] английского хирурга Е. Гарднера (E. Gardner). По его мнению, в понятие «синовиальная мембрана» следует включать не только слой поверхностных клеток, но также глубже лежащие клетки, соединительнотканые волокна и сосуды. Он поддержал выдвинутую в 1930-е гг. гипотезу, что регенерация поверхностных синовиальных клеток проходит через стадию метаплазии расположенных ниже клеток соединительной ткани.

Российский ортопед Д. А. Жданов в 1950 г. сформулировал представление о межзудочном веществе СО как о «живом коллоидном барьере», в котором протекают процессы удаления веществ

из суставной полости через стенки лимфатических и кровеносных капилляров. Главной функцией лимфатических сосудов он считал абсорбцию белков СЖ как веществ, которые не проникают через стенки кровеносных сосудов [12].

В 1950-е гг. начались системные исследования нервной регуляции проницаемости тканей в суставе, источников иннервации сустава, строения нервных волокон и окончаний. К середине XX в. сложились следующие представления о структуре синовиальных суставов. СО и клетки, ограничивающие суставную полость, происходят из зародышевой соединительной ткани (мезенхимы), имеют богатое кровоснабжение и иннервацию. Открытое сообщение между суставной полостью и лимфатическими сосудами оболочки отсутствует. От свойств и циркуляции СЖ зависит жизнедеятельность и здоровых, и патологически измененных суставов. В состав СЖ входят белки и полисахариды, в том числе ГУК, в значительной мере определяющие структуру, свойства и функции синовию.

1960–70-е гг. привнесли в артрологию новый методологический уровень исследований, связанный с применением электронной микроскопии, успехами гисто- и цитохимии, ферментологии, иммунологии, с привлечением методов биофизики, биохимии и математики. Это привело к росту потока информации о структуре и функционировании суставов и выходу на новый уровень ее анализа с применением ЭВМ. В период до 1980 г. основными направлениями изучения суставов были: 1) выяснение природы и механизмов функционирования синовиальных клеток в поверхностном слое СО; 2) закономерности процессов массообмена в синовиальных полостях; 3) оценка значимости сосудистого и секреторного механизмов образования СЖ; 4) установление закономерностей влияния суставного хряща на жизнедеятельность суставов. Последнее направление получило интенсивное развитие в работах трибологической школы Д. Доусона (D. Dowson) – английского биофизика и триболога [13].

Недостатком в изучении функциональной морфологии суставов было и остается малое количество работ, обобщающих результаты исследований, выполненных узкими специалистами в раз-

личных областях артрологии, биофизики и биохимии. Поэтому закономерно появление в 1980-х гг. монографий выдающегося российского артролога В. Н. Павловой, определивших современную тенденцию к системному подходу в изучении суставов [14, 15]. Выражением этой тенденции стало вырабатывавшееся на протяжении веков представление о синовиальной среде суставов, основанное на общности развития и структурно-функциональной взаимосвязи СО, СЖ и суставного хряща. Основные результаты этих обобщений и современных экспериментальных исследований, выполненные на стыке артрологии и физики конденсированного состояния, изложены ниже.

1.2. Синовиальная среда сустава

Суставы являются уникальными природными узлами трения. Как было отмечено, особенности структуры, контактного взаимодействия подвижных элементов и смазки суставов, динамика их изменений в процессе роста и жизнедеятельности организма обуславливают рекордно низкий (порядка 0,01) коэффициент трения и компенсацию износа в суставе, длительно обеспечивая двигательную активность человека. Установление морфогенетического и функционального единства элементов суставов позволило в конце 1960-х – начале 1970-х гг. ввести понятие о синовиальной среде суставов [14]. Это ускорило возникновение тенденции рассматривать процессы трения и изнашивания с позиций системного анализа [16]. В наше время термин «синовиальная среда суставов» объединяет комплекс главных компонентов сустава: суставной хрящ, СО и ее производное – СЖ, которые совместно обеспечивают функционирование сустава как «умного» узла трения. Это значит, что сустав создает оптимальные трибологические условия для скольжения сочлененных костей, вырабатывая СЖ путем обменных процессов между полостью сустава и сосудами, и регулирует их с помощью обратной связи с нервным центром (проприоцептивная афферентация).

Понятие синовиальной среды суставов предполагает, что сустав человека является «умной» системой. Концепция «умных»

(intelligent, smart) кибернетических систем возникла в конце 1970-х годов [17]. «Умные» технические системы «приспосабливаются» к условиям эксплуатации путем изменения своей механической и физико-химической структуры, а также напряженного или зарядового состояния, и посредством обратной связи регулируют степень этого приспособления [18]. Современные технические системы содержат элементы, выполняющие функции: 1) сенсора, реагирующего на изменения окружающей среды; 2) актюатора, с помощью которого система воздействует на среду; 3) процессора, управляющего действиями актюатора по сигналу, поступающему от сенсора [19]. Системы, содержащие пару этих элементов, получили названия «адаптивных», т. е. «приспосабливающихся» к изменяющимся условиям окружающей среды, и «активных» – запрограммированных на изменение свойств среды. «Умная» система содержит все три элемента и поэтому не только «приспосабливается» к среде и оказывает на нее активное воздействие, но регулирует уровень своих изменений в зависимости от изменения среды [20].

Концепция синовиального сустава как «умного» узла трения базируется на взаимосвязи и взаимодействии элементов синовиальной среды суставов, имеющих общую предисторию и специфическое строение.

1.2.1. Происхождение элементов синовиальной среды

Единство происхождения элементов синовиальной среды суставов подтверждено результатами изучения биологии эмбриональных и стволовых клеток [21], а также морфологическими исследованиями [22]. На ранних стадиях эмбрионального развития зачаток сустава представлен морфологически однородными пролиферирующими (размножающимися) клетками мезенхимального происхождения. Дифференцирование этих клеток по месту расположения и назначению дает начало всем соединительнотканым компонентам конечностей, в том числе элементам суставов. Последующие поколения клеток фибробластического ряда (фибробласты – основная клеточная форма соединительной ткани) сохра-

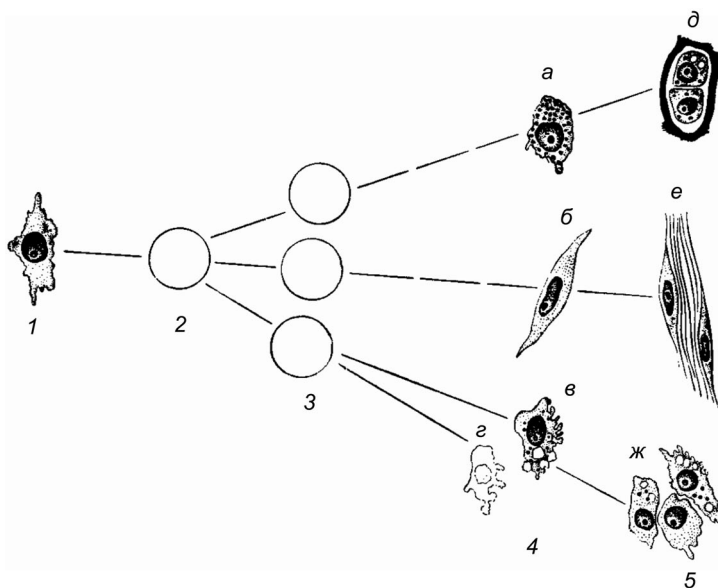


Рис. 1.1. Дифференцирование клеток в зачатке конечности [14]: 1 – мезенхимные клетки; 2 – промежуточные морфологически нераспознаваемые клетки, способные к продукции коллагена и протеогликанов; 3 – промежуточные клетки, обособляющиеся в одном из возможных направлений дифференцирования; 4 – морфологически распознаваемые клетки, утрачивающие способность к делению: а – хондробласт, б – фибробласт, в – синовиобласт, з – гибнущая клетка интерхондральной (хрящевой) зоны; 5 – зрелые функционирующие, утратившие способность к митозу, клетки: д – хондроциты в изогенной группе, е – фиброцит плотной соединительной ткани, ж – синовиоциты типа А, В и С (определение дано на с. 22–23)

няют на протяжении жизни способность продуцировать коллаген (белок, обеспечивающий прочность соединительной ткани) и протеогликаны (углевод-белковые компоненты ткани). Дифференцирование клеток фибробластического ряда в зачатке идет в трех основных направлениях (рис. 1.1).

Первое из них – это обособление клеток, продуцирующих коллаген и несультатированные протеогликаны. В закладке конечности они локализуются в интерхондральных и парохондральных зонах (интер – между, среди; пара – возле, при). Потомками этих клеток являются фибробласты, утратившие способность

к митотическому делению (митоз – способ деления клеток, обеспечивающий тождественное распределение генетического материала и преемственность хромосом в ряду клеточных поколений). Они являются основными клетками всех структур суставной капсулы, продуцентами коллагена и белково-полисахаридных комплексов. В результате дифференцировки клеток этой линии в суставах появляются фиброциты – не способные к делению клетки плотной соединительной ткани связок, суставной капсулы, менисков.

Второе направление – выделение хондробластов – клеток, секретирующих один из типов коллагена и сульфатированные протеогликаны в хрящевых закладках конечностей. Конечная стадия развития хондробластов – хондроциты, т. е. зрелые клетки хрящевой ткани, утратившие способность к митотическому делению, представленные в зрелом хряще изогенными (имеющими единое происхождение) группами.

Третье направление дифференцирования реализуется клетками центральных участков интерхондральных зон. Часть этих клеток разрушается, претерпевая дистрофические и деструктивные изменения. В зоне гибели клеток формируются щелевидные полости, заполненные продуктами разрушения. На границах суставных щелей клетки-зародыши синовиальных элементов – синовиобласты – претерпевают структурную перестройку с превращением в синовиоциты – клетки синовиальной среды.

Формирование полости коленного сустава человека происходит на 8,5–9-й неделе внутриутробного развития. Дифференцирование мезенхимной ткани приводит к формированию хрящевых закладок бедра, большеберцовой кости и надколенника, а также закладке тканей сухожилия собственной связки надколенника. На 11-й неделе за счет разрушения межзудочной ткани между хрящевыми закладками костей происходит расширение суставной щели с образованием на границах возникших полостей эмбриональной соединительной ткани. В эти сроки уже различимы граничащий с полостью сустава уплотненный слой клеток с овальными и округлыми ядрами и лежащий под ним более рыхлый слой. Это служит началом формирования СО. К 15-й неделе раз-

вития формируются эластические тонкие коллагеновые волокна, лежащие под уплотненным покровным слоем оболочки. Идет расширение полости сустава за счет появления заворотов образовавшихся тканей. В эти же сроки со стороны хрящевых эпифизов в хрящ врастает рыхлая соединительная ткань, несущая кровеносные сосуды. Наиболее интенсивно они развиваются начиная с 16-й недели. На 14–19-й неделе в СО возникают нервные волокна, прорастающие до слоя покровных клеток. К 19–20-й неделе элементы сустава дифференцированы: полость сустава представлена щелью между сочленяющимися хрящами, ее ограничивает зачаточная СО, состоящая из плотного покровного слоя и расположенного под ней рыхлого слоя, в котором формируются коллагеновые волокна и кровеносные капилляры.

Структурное оформление, разрушение и репарация (восстановление от повреждений) элементов синовиальной среды суставов происходит в течение всей жизни человека как ответ на воздействие генетических и внешних факторов (травмы, заболевания, функциональная и физическая нагрузка).

Морфофункциональное назначение элементов синовиальной среды суставов подтверждает единство их происхождения и функционирования.

1.2.2. Строение элементов

Синовиальная оболочка – это лежащий внутри фиброзной капсулы и ограничивающий суставную полость пласт соединительной ткани, состоящий из клеток и основного вещества, в котором расположены кровеносные и лимфатические сосуды, нервные волокна и окончания. Граничащий с суставной полостью слой СО не является собственно эпителием. Структуру этого покровного слоя выявляют с помощью гистологических срезов.

Покровный слой СО представляет собой пласт деформированной трением соединительной ткани, содержащий клетки, основное вещество, капилляры кровеносных сосудов, нервные волокна и окончания. Толщина покровного слоя у взрослого человека составляет 160 ± 60 мкм. Многочисленные ворсины увеличивают

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
<i>Глава 1. Синовиальный сустав</i>	8
1.1. Ретроспекция	9
1.2. Синовиальная среда сустава	17
1.2.1. Происхождение элементов синовиальной среды	18
1.2.2. Строение элементов	21
1.2.3. Сустав как «умный» узел трения	29
1.3. Теории смазки суставов	32
1.3.1. Исторический экскурс	33
1.3.2. Современные представления	40
<i>Глава 2. Состав и свойства синовиальной жидкости</i>	48
2.1. Биохимический состав	49
2.2. Клетки синовиальной жидкости	52
2.3. Иммуногенные свойства	55
2.3.1. Терминология	55
2.3.2. Иммунологические повреждения синовиальной жидкости	58
2.3.3. Групповая принадлежность синовиальной жидкости	61
2.4. Пространственная структура	66
2.5. Синовиальная жидкость как хондропротектор	69
2.6. Биофизические свойства	73
2.6.1. Основные понятия	74
2.6.2. Электромеханические аспекты циркуляции синовиальной жидкости	77
2.6.3. Квазиэлектретное состояние синовиальной жидкости	80
2.7. Синовиальная жидкость как жидкокристаллическая среда	83

2.7.1. Жидкокристаллические компоненты синовиальной жидкости	84
2.7.2. Температуры мезофазы	87
2.7.3. Снижение трения	92
Глава 3. Патологические состояния суставов	96
3.1. Травматическая патология	98
3.2. Заболевания суставов	105
3.2.1. Иммунные ревматические заболевания	109
3.2.2. Неиммунные ревматические заболевания	117
3.2.3. Артропатии при неревматических заболеваниях	123
3.3. Возрастные изменения	126
Глава 4. Методы исследования	130
4.1. Микроскопия	131
4.1.1. Основные сведения о методике	131
4.1.2. Оценка структуры синовиальной жидкости методом микроскопии	135
4.2. Биохимический анализ	140
4.3. Микробиологический анализ	156
4.3.1. Культуральное исследование синовиальной жидкости	157
4.3.2. Другие методы микробиологического анализа	160
4.3.3. Возбудители инфекции в суставах	165
4.4. Реологические методы	175
4.4.1. Основные понятия	175
4.4.2. Вискозиметрия синовиальной жидкости	178
4.4.3. Реология синовиальной жидкости в суставах	181
4.5. Смачивание	186
4.6. Трибометрия	190
4.6.1. Методология трибометрии	190
4.6.2. Трибометры общетехнического назначения	193
4.6.3. Маятниковые трибометры	201
4.6.4. Трибология синовиальной жидкости и лекарственных средств	204
4.7. Электретно-термический анализ	212
4.7.1. Методика электретно-термического анализа	213
4.7.2. Электретно-термический анализ синовии	216

4.8. Метод флуоресценции	219
4.8.1. Теоретические основы	220
4.8.2. Схема измерения	222
Глава 5. Методы лечения суставов	226
5.1. Фармакотерапия	227
5.1.1. Нестероидные противовоспалительные средства	227
5.1.2. Глюкокортикостероидные противовоспалительные средства	268
5.1.3. Медленно действующие препараты	279
5.1.4. Прочие лекарственные средства	286
5.2. Немедикаментозное лечение	290
5.2.1. Физиотерапия	290
5.2.2. Ортопедическое лечение	302
5.3. Локальная терапия	310
5.3.1. Инъекция лекарственных средств	310
5.3.2. Заменители синовиальной жидкости	327
5.3.3. Аутосыворотка крови	333
Заключение	344
Литература	348
Предметный указатель	374