

УДК 532.516:617.58

## СИНОВИАЛЬНЫЙ СУСТАВ КАК “УМНЫЙ” УЗЕЛ ТРЕНИЯ

Ю. М. ЧЕРНЯКОВА<sup>а+</sup>, Л. С. ПИНЧУК<sup>б</sup>

Предложена концепция и приведена структурная схема синовиального сустава как “умного” узла трения, обладающего свойствами кибернетической системы. Сустав демонстрирует рекордно низкое значение коэффициента трения и компенсацию износа хряща как триботехнического материала, обеспечивая многолетнюю двигательную активность человека. Он снабжен системой обратной связи с симпатическим нервным центром, регулирующим режим смазки подвижного сопряжения суставных концов костей, состав смазочной жидкости и удаление из суставной капсулы продуктов износа. Основной причиной его отказа является недостаточная смазка из-за нарушения обмена между кровяным руслом и синовиальной оболочкой сустава, обуславливающего дефицит смазочной синовиальной жидкости. Нарушение обмена компенсируют инъекцией в сустав заменителей синовиальной жидкости. Приведены результаты трибологических исследований и клинических испытаний, свидетельствующие, что сыворотка крови пациента может быть использована как абсолютно совместимая с его организмом смазочная жидкость, восстанавливающая функции синовиальной среды суставов.

**Ключевые слова:** синовиальный сустав, синовиальная жидкость, смазочная способность, поверхность трения хряща, аутосыворотка крови.

**Введение.** Суставы являются уникальными природными узлами трения. 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. понятие о синовиальной среде суставов [1]. Это ускорило возникновение тенденции рассматривать процессы трения и изнашивания суставов с позиций системного анализа [2]. В наше время термин синовиальная среда суставов объединяет комплекс главных компонентов сустава: суставной хрящ, синовиальную оболочку и ее производное — синовиальную жидкость (СЖ), которые совместно обеспечивают функционирование сустава как “умного” узла трения. Это значит, что сустав создает оптимальные трибологические условия для скольжения сочлененных костей, вырабатывая смазочную жидкость путем обменных процессов между полостью сустава и сосудами, и регулирует их с помощью обратной связи с нервным центром (в терминах медицины — проприоцептивная афферентация).

Концепция “умных” (intelligent, smart) кибернетических систем возникла в конце 1970-х гг. [3]. “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 [4]. Современные технические системы содержат элементы, выполняющие функции [5]: 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. Системы, содержащие пару этих элементов, получили названия “адаптивных”, т. е. “приспосабливающихся” к изменяющимся условиям окружающей среды, и “активных” — запрограммиро-

а Гомельский государственный медицинский университет. Беларусь, 246050, г. Гомель, ул. Ланге, 5.

б Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси. Беларусь, 246050, г. Гомель, ул. Кирова, 32а.

+ Автор, с которым следует вести переписку.

ванных на изменение свойств среды. “Умная” система содержит все три элемента и поэтому не только “приспосабливается” к среде и оказывает на нее активное воздействие, но и регулирует уровень своих изменений в зависимости от изменения среды [6].

Представляется, что разработка концепции синовиального сустава как “умного” узла трения и анализ причин повреждений и отказов такой системы позволят по-новому оценить эффективность направлений профилактики и лечения суставов.

**Структура сустава как “умного” узла трения.** Сустав представляет собой анатомический узел трения, состоящий из суставных концов костей, которые покрыты слоем антифрикционного гиалинового хряща и герметизированы в суставной капсуле. Она армирована связками и выстлана изнутри синовиальной оболочкой, вырабатывающей СЖ.

Конгруэнтность поверхностей трения сочлененных костей достигается благодаря выступающим из капсулы в полость суставов и участвующим в трении эластичным менискам, жировым телам, складкам синовиальной оболочки. Пространства между этими внутрисуставными образованиями и микропоры хряща заполнены СЖ. Она выполняет в суставе несколько функций, важнейшими из которых являются трибологическая (смазка) и метаболическая (питание хряща и синовиальной оболочки). Количество СЖ в суставах невелико (2÷4 мл), но в условиях вакуумного давления в полости сустава ее смазочная пленка равномерно распределена в микропорах и по поверхностям трения хрящей [1]. Это обуславливает жидкостную смазку здорового сустава даже при больших (но меньших предела прочности хрящевой ткани) нагрузках, т. к. при нагружении сустава СЖ выдавливается из микропор хряща на поверхность трения именно в зону действия максимальных контактных напряжений.

Трибологическая функция СЖ реализуется благодаря наличию (концентрация  $3,8 \pm 0,4$  ммоль/л) жидкокристаллических (ЖК) компонентов в виде сложных эфиров кислот холестерина [7]. Выдвинута гипотеза [8], согласно которой молекулы последних размещаются в микробороздках на поверхностях трения хрящей и образуют ЖК-ориентированную структуру, состоящую из множества нематических слоев, межмолекулярное взаимодействие которых невелико. Такая структура подобна структуре слоистых твердых смазок. При трении сдвиг локализуется между слоями, легкое скольжение которых обеспечивает низкое трение в суставе. Исчезновение микрорельефа на поверхности хряща препятствует образованию ЖК смазочных слоев, что объясняет механизм (патогенез) изнашивания хряща при дегенеративных болезнях суставов.

СЖ вместе с тканями синовиальной оболочки и хряща участвует в интенсивных процессах обмена между суставом и сосудистыми (кровеносным и лимфатическим) руслами. Основу СЖ как смазочной жидкости составляет фильтрат крови, проникающий через стенки капиллярных кровеносных сосудов в синовиальную оболочку. Смазочная прослойка СЖ демпфирует ударные нагрузки в здоровом суставе благодаря присущей ей вязкости и псевдоупругости. Относительно высокая вязкость синовии ( $\approx 0,57$  Па·с) связана с присутствием специфического углевод-белкового соединения (протеогликана) — гиалуроновой кислоты (ГУК) и ее солей — гиалуронатов [1]. Результаты трибологических исследований [9] доказали, что ферментативное разрушение гиалуроната не оказывает влияния на коэффициент трения в суставах. Роль гиалуроновой кислоты, вырабатываемой синовиальной оболочкой, как добавки в фильтрат крови, состоит в формировании пространственной молекулярной структуры комплексов ГУК и протеинов, образующих трехмерные сетки с консистенцией геля, благодаря чему прослойка СЖ приобретает вязкость и обеспечивает в суставе амортизационный эффект [10].

Механизм формирования слоистого смазочного слоя СЖ объясняется моделью граничной смазки хрящей [11], учитывающей поляризационно-электрические взаимодействия в синовиальной среде сустава. На отрицательно заряженной поверхности хряща адсорбируются электрически неравновесные макромолекулы белковых соединений — гликопротеинов СЖ. К ним по механизму гидрофобно-гидрофобного взаимодействия притягиваются другие молекулы гликопротеинов, образуя прочные связи. Следующий слой соединен с предыдущим слабыми гидрофильно-гидрофильными связями. Трение в такой системе определяется энергией разрыва слабых связей, обуславливающих низкое сопротивление сдвигу по границе слоев.

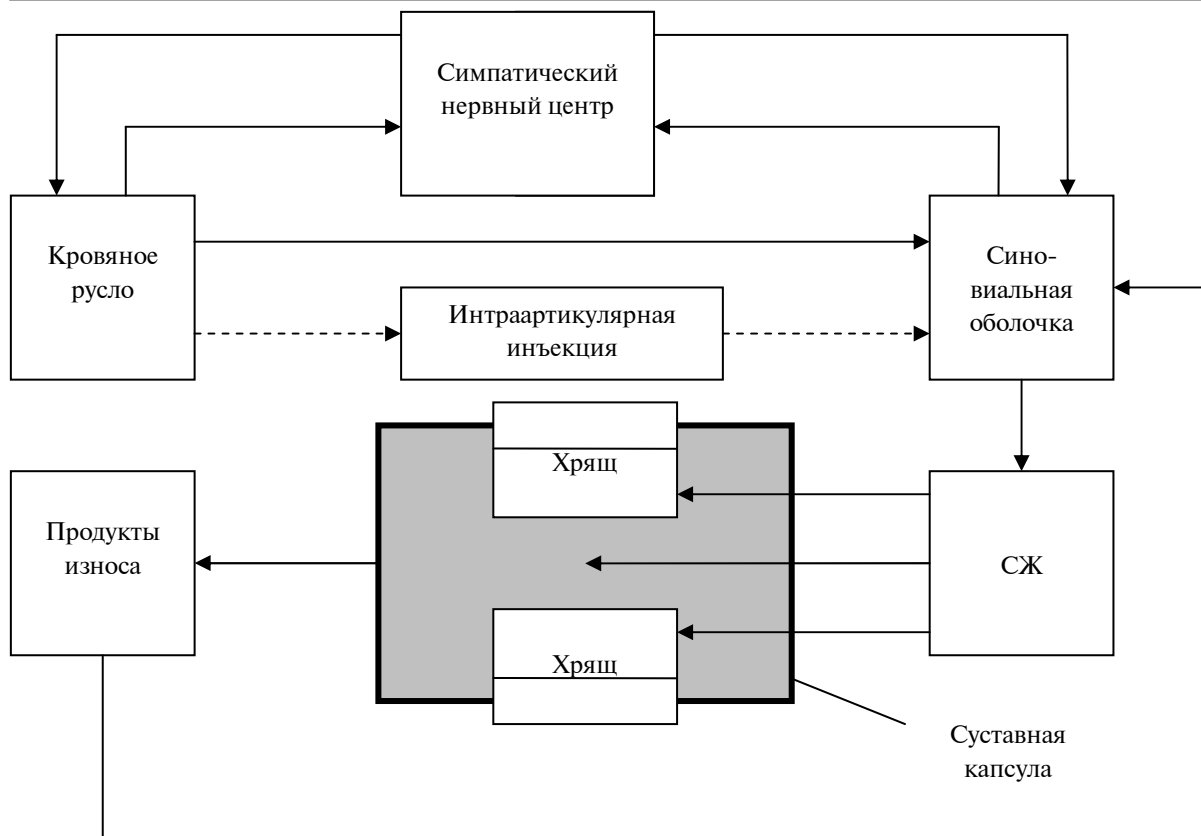


Рис. 1. Структурная схема синовиального сустава как “умного” узла трения

Исходя из изложенного, структуру синовиального сустава можно представить в виде трибосистемы, связанной с нервным центром, регулирующим ее работу (рис. 1). Капсула сустава пронизана капиллярными сосудами, соединенными с кровеносным руслом, и сыворотка крови, проникая через стенки капилляров, питает синовиальную оболочку. В последней формируется структура комплексных соединений СЖ на основе сыворотки и ГУК, вырабатываемой синовиальной оболочкой. СЖ поступает в суставную полость и в микропоры хряща, образуя смазочную прослойку между подвижно сопряженными суставными концами костей. Режим смазки сопряжения автоматически регулируется в зависимости от распределения нагрузки по поверхности трения путем выдавливания СЖ из микропор хряща на наиболее нагруженные участки поверхности. Продукты износа хряща и деструкции СЖ поступают из суставной капсулы в синовиальную оболочку. Они утилизируются находящимися в ней ферментами (биологическими катализаторами) и макрофагами (клетками, способными к активному захвату и перевариванию чужеродных или токсичных для организма частиц). Удаление продуктов утилизации происходит через лимфатическую и кровеносную периартикулярные (расположенную вокруг сустава) сосудистые системы. Регулирование этих процессов осуществляет симпатический нервный центр, снабженный системами обратной связи с кровяным руслом (нервные импульсы, регулирующие проницаемость капилляров и оказывающие сосудорасширяющее действие в зависимости от биохимических показателей крови и СЖ) и с синовиальной оболочкой посредством афферентных (направленных к центру) и эфферентных (от центра к оболочке) импульсов. Такая трибосистема имеет все признаки “умной” системы, благодаря чему: 1) происходит автоматическое регулирование режима смазки; 2) суставы функционируют долго и достаточно надежно; 3) их работоспособность зависит от общего состояния организма.

**Трибологическая обусловленность заболеваний суставов.** Остеоартроз — самое распространенное ревматологическое заболевание, которым страдает 10÷12% населения Земли [12]. Его причина — ухудшение обмена веществ в организме, приводящее к сокращению просвета капилляров и увеличению их сопротивления току крови. Это обуславливает снижение параметров фильтрации сыво-

ротки крови через стенки капилляров в синовиальную оболочку. Ухудшается ее питание и уменьшается ее эффективность как продуцента СЖ. Одновременно нарушается биохимический состав СЖ [13], и она начинает хуже выполнять метаболическую и трибологическую функции. Как следствие, повреждается поверхность трения хряща, проходя через стадии исчезновения микробороздок, гидратации коллагена (фибрилярного белка, составляющего основу хряща), разволокнения хрящевой ткани и дегенерации коллагеновых волокон [14]. Нарушение микрорельефа поверхности трения приводит к ухудшению сцепления с хрящом молекул ЖК-соединений холестерина и увеличению трения в суставе [9]. Поверхностный слой хряща разрушается.

При хроническом воспалении сустава количество СЖ в суставной полости увеличивается, но смазка сустава от этого не улучшается. Из клеток разрушающегося хряща высвобождаются так называемые протеолитические ферменты, которые катализируют разрушение пептидных связей в макромолекулах СЖ. Это приводит к появлению в СЖ патологических белковых фракций и нарушению механизма эластогидродинамической смазки из-за снижения несущей способности смазочного слоя [15]. Крайняя степень остеоартроза — “сухой сустав”, в котором практически нет смазки из-за атрофии клеток синовиальной оболочки, рубцовых и спаечных изменений в суставной капсуле [16].

Таким образом, причиной заболеваний суставов является нарушение обмена в системе “кровеное русло — синовиальная оболочка” (рис. 1), которое обуславливает ухудшение смазки сустава и питания хрящевой ткани, приводя к разрушению хряща как трибологического материала сустава. Поэтому главным предметом беспокойства ортопедов являются состояние поверхности трения хряща и условия его смазки. Современной тенденцией артрологии стала хондропротекция [17] — 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.

**Лекарственная терапия поверхностного слоя хряща.** В настоящее время введение лекарственных средств (ЛС) в полость сустава (интраартикулярная инъекция) является важной частью комплексной терапии воспалительных и дегенеративных заболеваний суставов.

Современная локальная терапия суставов решает разные задачи, направленные на достижение главной цели — восстановления работоспособности хряща как триботехнического материала. В число этих задач входят [18]: 1) обезболивание процесса трения путем воздействия на нервные окончания, расположенные в капсуле сустава и субхондральной кости, растворов новокаина, лидокаина, прокаина; 2) снятие воспалительной реакции суставных тканей нестероидными противовоспалительными ЛС (орготеин, димексид, пероксинорм), антибиотиками (линкомицина гидрохлорид) или ингибиторами протеолитических ферментов (контрикал, трасилол); 3) подавление пролиферации (разрастания ткани) и хронического воспаления синовиальной оболочки радиоактивными коллоидами золота, иттрия, четырехоксида осмия, которые, к сожалению, повреждают иммуноответственные клетки оболочки [19, 20]. Наиболее сильный и длительный противовоспалительный эффект дают инъекции в сустав стероидных ЛС — гидрокортизона и его производных (“Кеналог”, “Дипроспан” и др.) [20].

Проблема выбора ЛС для внутрисуставной терапии состоит в том, что после введения в суставную полость они оказывают непредсказуемое действие на синовиальную среду сустава. Для оценки их деструктивного влияния на естественную смазку хряща предложено [21] предварительно определить смазочную способность ЛС с помощью маятникового трибометра, который оснащен источником электромагнитного поля. Оно действует на смазочную прослойку в опоре маятника, моделируя биофизическое поле естественного сустава [22]. Результаты измерения коэффициента трения в опоре, смазываемой ЛС, сравнивают с трибологическими параметрами СЖ пациента. Это дает возможность индивидуально подбирать ЛС для локальной терапии. Установлено, что для сохранения хряща инъекцию ряда ЛС целесообразно сочетать с магнитотерапией сустава [21].

Трибологический мониторинг ЛС, вводимых в полость суставов, обнаружил разную смазочную способность препаратов с одинаковым фармакологическим механизмом действия (рис. 2). Все исследованные препараты обнаруживают чувствительность к воздействию магнитного поля. Химический состав, консистенция, коллоидная стабильность и смазочная способность исследован-

ных ЛС, а также их совместимость с СЖ пациента во многом определяют трибологический эффект внутрисуставной терапии [23].

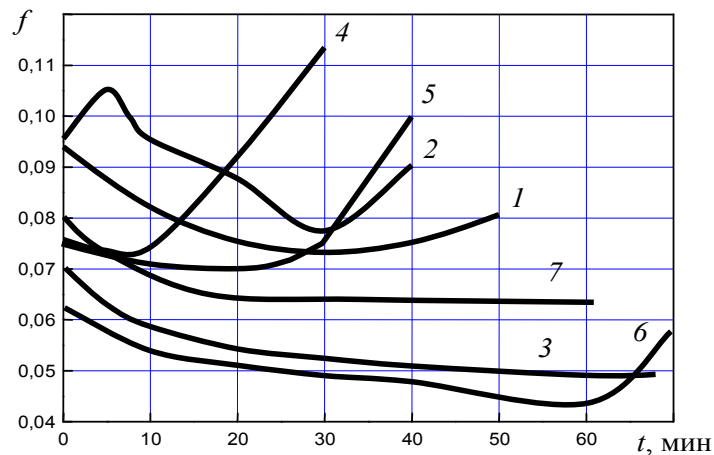


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения в опоре маятникового трибометра от времени действия магнитного поля напряженностью 1,2 кА/м на смазочную прослойку лекарственного средства: 1 — гидрокортизон; 2 — “Кеналог-40”; 3 — “Дипроспан”; 4 — линкомицина гидрохлорид; 5 — “Синвиск”; 6 — “Гиаларт”; 7 — “Диасинопл”

**Искусственные СЖ.** В настоящее время разработаны и применяются в качестве заменителей СЖ смазочные жидкости, совместимые с синовиальной средой суставов [24].

Первая группа таких препаратов содержит в качестве основы синтетические полимеры. Водный раствор (15 мас. %) поливинилпирролидона недостаточно совместим с организмом человека, но имеет вязкость и молекулярную массу ( $\approx 300000$ ), близкие к аналогичным характеристикам здоровой естественной СЖ. Он может временно восполнить ее дефицит и оказывает некоторое противовоспалительное действие на синовиальную оболочку и хрящ [25]. Искусственная СЖ “Диасинопл” состоит из водного раствора натрийкарбоксиметилцеллюлозы и поливинилпирролидона, содержащего антифрикционную добавку ЖК-соединений холестерина [26].

Современный уровень разработок искусственной СЖ определяет группа ЛС, содержащих ГУК и гиалуронаты, синтезированные из гребней петухов. Представителем первого поколения этой группы препаратов является “Гиалган” (“Hyalgan”, фирма “Fidia”, Италия) — очищенный раствор гиалуроната натрия. “Синвиск” (“Synvisc”, фирма “Biomatrix”, США) относится к следующему поколению эндопротезов СЖ. Он представляет собой раствор производных ГУК. Основным терапевтическим эффектом “Синвиска” состоит в восполнении вязкости патологически измененной СЖ [27]. Одним из последних препаратов на рынке заменителей СЖ является “Ортовиск” (“Ortovisk”, фирма “Anika Therapeutics, Inc.”, США). Это раствор гиалуроната натрия с молекулярной массой  $6\div 7$  млн. и самой высокой, по сравнению с аналогами, концентрацией [28].

Трибологические параметры некоторых из этих препаратов представлены на рис. 2. Под действием магнитного поля “Синвиск” демонстрирует кратковременное снижение трения в модельной паре, после чего его смазочная способность ухудшается. “Гиаларт” (аналог “Ортовиска”) обеспечивает самое низкое трение, но со временем тоже обнаруживает тенденцию к ухудшению смазочной способности. “Диасинопл” характеризуется стабильно низким коэффициентом трения, однако его биосовместимость с синовиальной средой сустава недостаточна.

К сожалению, даже лучшие искусственные СЖ не всегда эффективны при лечении остеоартрозов. При удачном применении они обуславливают короткий срок (не более 6 мес.) ремиссии (ослабления) воспалительного и болевого синдромов. Цена искусственных СЖ нового поколения достаточно высока (150÷200 долларов США за ампулу).

**Аутосыворотка крови как смазочная среда суставов.** Итак, самым слабым звеном в системе естественного сустава является снабжение синовиальной оболочки сывороткой крови, которая служит основой СЖ. Когда это звено отказывает, работоспособность хряща как антифрикционного материала сустава можно поддерживать путем интраартикулярных инъекций жидкостей — замените-

лей СЖ. На схеме рис. 1 эта возможность показана пунктирной стрелкой, соединяющей блоки “Кровяное русло” и “Синовиальная оболочка”.

Принципиально новый подход к решению этой задачи состоит в использовании плазмы или сыворотки собственной крови пациента (аутоплазмы, аутосыворотки) в качестве ЛС, компенсирующего недостаток СЖ [29]. Основанием для такого решения послужило следующее. СЖ происходит из плазмы крови (является ее трансудатом), имеет схожий с ней биохимический состав и отличается лишь содержанием ГУК [1]. Такие низкомолекулярные составляющие крови как глюкоза и холестерин находятся в СЖ в тех же количествах, что и в плазме в связи с их беспрепятственной диффузией через стенки капилляров. Вероятность проникновения в синовиальную оболочку коллоидов белков тем ниже, чем крупнее частицы дисперсной фазы. В полость сустава не проникают белки крови молекулярной массой  $> 160000$ , например, фибриноген (структурная основа тромба). Белки СЖ и плазмы идентичны по электрофоретическим и иммунологическим показателям, однако общее количество белка в СЖ в 3 раза ниже, чем в плазме крови. Соотношение содержания основных белков альбумины/глобулины в СЖ составляет  $3/1 \div 4/1$ , в плазме —  $1/1$  [1]. ГУК образует с белками плазмы комплексные соединения, получившие название муцин. При воспалениях сустава синовиальная оболочка вырабатывает протеолитические ферменты, разрушающие макромолекулы ГУК и структуру муцина.

Исследования смазочной способности СЖ, а также криоконсервированной плазмы и сыворотки крови I—IV групп показали, что смазывание ими обеспечивает стабильно низкий коэффициент трения в опоре маятникового трибометра и одинаковую реакцию смазочных прослоек этих жидкостей на воздействие электромагнитного поля, состоящую в улучшении скольжения (рис. 3).

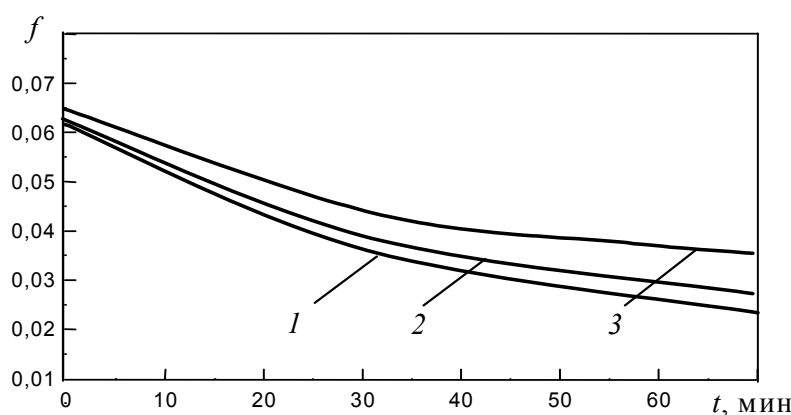


Рис. 3. Кинетическая зависимость коэффициента трения в модельной паре трения, подвергнутой действию магнитного поля при смазке: 1 — плазмой крови; 2 — синовиальной жидкостью, взятой из здорового сустава; 3 — смесью плазмы и гиалуроновой кислоты (4,0 г/л)

Клинические испытания аутосыворотки в качестве заменителя СЖ проведены при лечении 14 пациентов (19 коленных суставов) с дегенеративно-дистрофическими изменениями, которые соответствуют 2—5-й рентгенологическим стадиям [30]. Заготовку и консервирование аутосыворотки проводили по стандартной методике [31]. Сыворотку, хранившуюся в запаянных ампулах, вводили в полость суставов по методике, изложенной в работе [32]. Минимальный срок наблюдения составлял 6 мес. Аутосыворотка имела абсолютную биологическую совместимость с организмом пациента. Наряду с уменьшением болевого синдрома, пациенты отмечали ощущение “легкости скольжения в суставе”, исчезновение в нем хруста и скованности. Статистическая обработка результатов малой выборки достоверно подтвердила эффективность использования аутосыворотки при лечении артрозов.

Клинический эффект от введения аутосыворотки обусловлен тем, что вместо патологически измененной СЖ, содержащей продукты износа тканей, обрывки макромолекул белка и ферменты, на поверхность трения хряща поступала антифрикционная смазочная жидкость, богатая белками — носителями биологически активных веществ. Благодаря этому питание (трофика) тканей сустава

ва, белковый, водный, солевой обмен временно нормализовались. Одновременно атрофированные клетки синовиальной оболочки активировались и возобновляли синтез ГУК. Введенная в сустав аутосыворотка контактировала с этими клетками, и ее макромолекулы образовывали комплексные соединения с ГУК и электролитной основой сыворотки. В результате смазка хряща осуществлялась антифрикционной жидкостью, близкой по биохимическому составу к здоровой СЖ.

**Заключение.** Синовиальный сустав представляет собой “умный” узел трения, снабженный системой обратной связи с симпатическим нервным центром, регулирующим режим смазки подвижного сочленения суставных поверхностей костей, состав смазочной жидкости и удаление из сустава продуктов износа. Повреждения и отказ такой системы чаще всего происходят в результате нарушения массообмена между кровяным руслом и синовиальной оболочкой сустава. Это приводит к уменьшению выработки СЖ, ухудшению смазки хряща как антифрикционного материала и повреждению его поверхности трения. Нарушение такого обмена компенсируют инъекцией в суставную полость заменителей СЖ.

Абсолютно биосовместимая с суставом аутосыворотка крови может быть использована как средство, временно заменяющее и улучшающее свойства и функции патологически измененной СЖ, а также для уменьшения болевого синдрома и замедления патологических изменений в тканях суставов, пораженных остеоартрозами. Представляются перспективными исследования иммуномодулирующего и антимикробного действия аутосыворотки крови пациента, содержащей свойственный ему индивидуальный набор антител и способной стимулировать в тканях сустава реакции гуморального (осуществляемого с помощью антител) и клеточного иммунитета.

### Обозначения

ГУК — гиалуроновая кислота; ЖК — жидкие кристаллы; ЛС — лекарственное средство; СЖ — синовиальная жидкость;  $f$  — коэффициент трения;  $t$  — время.

### Литература

1. Павлова В. Н. Синовиальная среда суставов. — М.: Медицина. — 1980
2. Czichos H. Systemanalyse und physik tribologischer vorgange, 1 — Grundlagen, 2 — Anwendungen // Schmiertechnik Tribologie. — 1975 (22), 126—130; 1976 (23), 6—12
3. Smart materials and structures / Ed. by C. M. Friend. — London: Chapman and Hill. — 1994
4. Chung D. D. L. Composite materials: Functional materials for modern technologies. — NY: Springer. — 2003
5. Wallace G. G., Spinks G. M., Taesdale P. R. Conductive electroactive polymers: Intelligent materials system. — Lancaster: Technomic Publishing Co. — 1998
6. Motyl E. Space charge in solid dielectrics analysis of measurement methods and investigation. D. Sci. Thesis. — Wroclaw. — 2000
7. Ермаков С. Ф., Родненков В. Г., Белоенко Е. Д., Купчинов Б. И. Жидкие кристаллы в технике и медицине. — Минск: “Асар”, ЧеРо. — 2002
8. Ермаков С. Ф. Трибофизика жидкокристаллических материалов в металло- и биополимерных сопряжениях: Автореф. дис. ... д-ра тех. наук. — Гомель: ИММС НАНБ. — 2001
9. Купчинов Б. И., Ермаков С. Ф., Родненков В. Г., Белоенко Е. Д. Биологическая роль структурно-деформационных свойств хряща и синовиальной жидкости в снижении внутрисуставного трения // Ортопедия, травматология, протезирование. — 1989, № 10, 7—11
10. Chikama H. The role of the protein and the hyaluronic acid in the synovial fluid in animal joint lubrication // J. Jpn. Orthop. Ass. — 1985 (59), № 5, 559—572
11. Davis W. H. J., Lee S. L., Sokoloff L. A proposed model of boundary lubrication by synovial liquid: Structuring of boundary water // Trans. ASME J. Biomech. Eng. — 1979 (101), № 3, 185—192
12. Цурко В. В. Остеоартроз: гериатрическая проблема // Русский медицинский журнал. — 2005 (13), № 24, 1627—1631
13. Герасимов А. М., Фурцева Л. Н. Биохимическая диагностика в травматологии и ортопедии. — М.: Медицина. — 1986

14. **Миронов С. П., Омеляненко Н. П., Шерепо К. М. и др.** Морфология тканевых компонентов тазобедренного сустава у экспериментальных животных при моделировании остеоартроза // Вестник травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. — 2006, № 1, 57—63
15. **Пляцко В. В., Левенец В. Н., Ставинский Ю. А.** Изменения синовиальной среды при деформирующем гонартрозе // Ортопедия, травматология, протезирование. — 1990, № 5, 24—28
16. **Чичасова Н. В.** Лечение остеоартроза: влияние на хрящевую ткань различных противовоспалительных препаратов // Русский медицинский журнал. — 2005 (13), № 8, 539—543
17. **Избранные лекции по клинической ревматологии** / Под ред. В. А. Насоновой. — М.: Медицина. — 2001
18. **Диагностика и лечение внутренних болезней.** Руководство для врачей: В 3 т. Т. 1: Болезни сердечно-сосудистой системы, ревматические болезни / Под ред. Ф. И. Комарова. — М.: Медицина. — 1991
19. **Сорока Н. Ф.** О ревматоидном артрите (вопросы и ответы). — Минск: Беларусь. — 1992
20. **Астапенко М. Г., Павлов В. П.** Пункция суставов и внутрисуставное введение стероидных гормонов (в практике терапевта). — М.: Медицина. — 1973
21. **Чернякова Ю. М.** Оптимизация диагностики и лечения синовита путем контроля биофизических свойств синовиальной жидкости: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. — Минск: Белорусский науч.-исслед. институт травматологии и ортопедии. — 2006
22. **Способ оценки смазочной способности синовиальной жидкости:** Патент РБ № 9059, МПК G01N, G01L. — 2006 / Л. С. Пинчук, Ю. М. Чернякова, Ж. В. Кадолич, В. И. Николаев, Е. А. Цветкова, С. Ф. Ермаков, Е. Д. Белоенко. — Афіц. бюл. Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. — 2007, № 2, 58
23. **Чернякова Ю. М., Пинчук Л. С., Кравцов А. Г. и др.** Трибологический и электротно-термический анализ лекарственных препаратов для локальной терапии суставов // Журнал технической физики. — 2005 (75), № 5, 119—123
24. **Вырва О. Е.** Искусственная синовиальная жидкость в лечении патологии коленного сустава // Ортопедия, травматология, протезирование. — 2002, № 2, 146—150
25. **Василенкайтис В. В.** Искусственная синовиальная жидкость // Ортопедия, травматология, протезирование. — 1989, № 10, 11—15
26. **Белоенко Е. Д.** Оптимизация ортопедо-хирургического лечения ревматоидного артрита на основе методов биофизического управления антифрикционными свойствами синовиальной среды суставов: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. — Киев: Киевский науч.-исслед. институт травматологии и ортопедии. — 1992
27. **Клинические аспекты применения препарата “Синвиск”** // Margo Anterior. — 2002, № 4, 5—8
28. **Reigon J.** Intra-articular Hyaluronan injections in the treatment of osteoarthritis: state-of-the-art review // J. of Rheum. — 1993 (20), Sup. 39, 10—15
29. **Искусственная синовиальная жидкость:** патент РБ № 9146, МПК A61K 35/16, 47/36. — 2006 / Ю. М. Чернякова, Л. С. Пинчук, Ж. В. Кадолич, В. И. Николаев, Е. А. Цветкова, Е. Д. Белоенко. Афіц. бюл. Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. — 2007, № 3, 55
30. **Смирнов А. В.** Современные методы оценки суставного синдрома и эффективности противоревматической терапии / Матер. науч.-практ. конф. по ревматологии. — М. — 2003, 24—30
31. **Филатов А. Н., Богомолова Л. Г., Андрианова И. Г.** Сухая плазма крови. — Л.: Медицина. — 1964
32. **Николаев В. И., Чернякова Ю. М., Пинчук Л. С. и др.** Локальная терапия гонартроза аутосыровоткой крови пациента // Весці НАН Беларусі. Сер. мед. навук. — 2006, № 4, 50—53

*Поступила в редакцию 07.02.07.*

Chernyakova Yu. M. and Pinchuk L. S. Synovial joint as “smart” friction unit.

The concept of the synovial joint as a “smart” friction unit possessing properties of a cybernetic system is proposed and the joint structure diagram is presented. The joint shows an extremely low friction coefficient and the compensation of the wear of the cartilage as a tribological material and provides long-term locomotor activity of human being. It has the feedback with the sympathetic nerve center which controls the regime of lubrication of the moving joint of the articular ends of the bones, the synovia composition and the removal of wear debris from the articular capsule. The main reason of joint fail is deficient lubrication because of the disfunction of exchange between the bloodstream and the joint Synovial membrane that causes the lack of the Synovia acting as the lubricant. Exchange disfunction is compensated by injecting artificial Synovial fluids into the joint. The paper reports results of tribotests and clinical trials showing that blood serum of a patient can serve as the lubricant totally compatible with its organism recovering functions of joint synovia.

**Keywords:** synovial joint, synovia, lubricity, cartilage friction surface, blood autoserum.