

Диагностическая ценность трибологического исследования коленного сустава

А. Б. Рахмилевич, А. В. Чанцев, Е. А. Распопова, А. А. Коломиец

Diagnostic value of the knee tribologic study

A.B. Rakhmievich, A.V. Chantsev, E.A. Raspopova, A.A. Kolomiyets

ГОУ ВПО «Алтайский государственный медицинский университет» Росздрава, г. Барнаул (ректор д.м.н., профессор В. М. Брюханов)

Отображаются возможности биотрибологии в диагностике состояния коленных суставов с применением артрофонографии. Результаты представлены в виде чувствительности, специфичности и прогностической ценности метода при выявлении наиболее распространенных поражений коленного сустава.

Ключевые слова: артрофонограф; коленный сустав; диагностика.

The work deals with biotribology possibilities in diagnostics of the knee conditions using arthrophonography. The results are presented as the method sensitivity, specificity and predictive value for revealing the most widespread injuries of the knee.

Keywords: arthrophonograph, the knee (joint), diagnostics.

ВВЕДЕНИЕ

Повреждения и заболевания крупных суставов конечностей занимают одно из ведущих мест в России среди всех поражений опорно-двигательного аппарата. В мире около 12 % населения страдает различными заболеваниями крупных суставов, из них 30 % по этому виду патологии имеют группу инвалидности [1].

В настоящее время для оценки состояния крупных суставов конечностей используются клинические методы исследований, такие как ангулометрия, пальпация, индекс ВАШ, которые отличаются своей субъективностью [2, 3]. Из объективных способов диагностики наибольшее распространение получили рентгенография, УЗИ и МРТ [5, 6]. Однако результаты этих исследований отражают, преимущественно, анатомические нарушения в тканях суставов на поздних стадиях заболевания, когда размеры измененных структурных образований становятся доступными для визуализации. Выраженность суставных шумов, возникающих в суставах при движениях, оценивается пальпаторно – ладонью врача или аускультативно с помощью фонендоскопа или стетоскопа. Полученные сведения о суставном трении не позволяют сопоставить интенсивность суставных шумов у разных пациентов, у одного больного в сравнении с симметричным суставом или в одном суставе в динамике лечения. Кроме того, такой способ диагностики не является настолько чувствительным, чтобы зарегистрировать начальные нарушения суставного трения, что было бы чрезвычайно важным для скрининг-диагностики в группах риска по суставной патологии [1, 6].

Таким образом, в настоящее время в клинической практике методы выявления функциональных нарушений в суставах, особенно на ранних стадиях заболевания, остаются недостаточно разработанными. Лечение пациентов начинается несвоевременно, что способствует прогрессированию заболевания и ранней инвалидизации больных [7, 3, 8].

Биотрибология – раздел трибологии, изучающий процессы, сопровождающие трение хрящевых покрытий в суставах, вносит определенные коррективы в решение этих вопросов. Так, при аномально низком трении хрящей, разделенных синовиальной жидкостью, находящейся в жидкокристаллическом состоянии, смазочный слой находится под влиянием биофизического поля организма в поляризованном состоянии [9, 10]. Синовиальную жидкость, как смазочную среду суставов, рассматривал ещё в 18 веке Дж. Хантер. Английский физик О. Рейнольдс впервые связал геометрию поверхности суставных хрящей и вязкостные свойства синовиальной жидкости с гидродинамическим эффектом.

В современных научных разработках сустав рассматривается как герметичный узел трения, регулируемый симпатической нервной системой, способный приспосабливаться к различным условиям эксплуатации путем изменения физико-химических структур, контактирующих материалов, смазочного слоя и других параметров синовиальной среды [9, 10]. Основным механизмом регуляции названы изменения проницаемости стенок капилляров синовиальной оболочки, а выработку гиалуроновой кислоты регулирует симпатическая нервная система. В этих условиях проявляются реологические

свойства синовиальной жидкости и формируются оптимальные режимы смазки.

Из общей теории трения известно, что в процессе взаимодействия твердых тел происходит упругое деформирование контактирующих слоёв с колебательными движениями частиц и образованием звуков [11]. При этом суставные хрящи, являясь твердыми упругими телами, испытывают трение с образованием звуковых волн, распространяющихся по костным тканям [10]. Нами был разработан метод их регистрации при помощи технического устройства, названного программно-аппаратным комплексом «Артрофонограф» [12]. Последующий анализ полученных данных на компьютере со стандартизацией записи и хранением информации о звуках, возникающих в суставах при трении, позволяет провести функциональную диагностику с оценкой тяжести суставных поражений и осуществить контроль эффективности лечения. С этой точки зрения, коленный сустав является наиболее простым для подобных исследований, так как окружен малым количеством мягких тканей,

что становится важным при прохождении через них звуковых волн, испытывающих деформации на границах сред различной плотности. Основные движения в коленных суставах происходят в пределах одной плоскости, что облегчает интерпретацию полученных звукозаписей, снижает количество движений, необходимых для исследования, сокращает время эксперимента.

Цель исследования: определить диагностические возможности трибологического исследования суставов на примере коленного сустава.

Задачи:

- изучить методом артрофонографии состояние суставного трения в норме и при патологии;
- определить диагностические критерии дегенеративно-дистрофических, посттравматических и первично-воспалительных поражений коленных суставов;
- на основе диагностических критериев определить чувствительность и специфичность метода артрофонографии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Используя оригинальный программно – аппаратный комплекс «Артрофонограф» с информированного согласия исследовано состояние коленных суставов у 318 человек (табл. 1).

Таблица 1
Клинические группы обследованных

Вид патологии	Кол-во обследованных (чел.)	%
Без патологии	52	16,25
Деформирующий артроз I-II степени с синовитом	103	32,19
Деформирующий артроз I-II степени без синовита	56	17,50
Застарелое повреждение мениска	77	24,06
Ревматоидный артрит	32	10,00
Всего	318	100,00

Методика обследования описана в наших предыдущих публикациях [6, 12, 17, 18, 19, 20].

Первичный захват звуковых сигналов осуществляли при помощи датчика, состоящего из мембранной головки стетоскопа «Армус Энтерпрайзис, ЛТД» с смонтированным в нее электреты микрофоном диаметром 7 мм, соединенным с аналогово-цифровым преобразователем компьютера [12, 13].

Полученные звуковые сигналы фиксировали, обрабатывали и сохраняли с помощью компьютера типа IBMPC–ACER Espire 5310 под общим управлением операционной системы MS Windows XP SP2, оснащенного аналогово-цифровым преобразователем (звуковой картой) Realtek High Definition Audio и цифровым носителем HDD Seagate Momentus 5400.3 ST 9120822AS.

Для программного управления использовали специализированное приложение «Артрофонограф, версия 1.01», созданное совместно со специалистами ФГУП СКБ «ВОСТОК» [14].

Записи звуковых сигналов размещали в файлах стандарта WAV в моно-режиме с частотой дескриптации 6 кГц, формат данных 16 бит, скорость потока 96 кбит/сек, кодер – PCM.

Анализ полученных данных осуществляли в режиме построения частотно – временного спектра интенсивности звуков по методу Фурье [14, 15].

Как известно, преобразование Фурье – операция, сопоставляющая функции вещественной переменной с другой функцией вещественной переменной, характеризующей коэффициенты разложения исходной функции на элементарные составляющие – гармонические колебания с различными частотами [14, 15, 16]. Преобразование Фурье в этом качестве является интегральным преобразованием.

В нашей работе использование дискретного преобразования Фурье обосновано дробным характером записываемых в электронном виде звуковых сигналов с частотой 6000 Гц.

При помощи оригинальной программы «Артрофонограф» выполняли быстрое преобразование с меньшим количеством вычислений в сравнении с дискретным преобразованием Фурье при одинаковых результатах [14, 15].

Временной период составлял 512 точек. Для ослабления «эффекта скачков» на стыках периода и снижения уровня «боковых лепестков», характерных для дискретного преобразования Фурье, применяли «окно» Блэкмена-Харриса, выполняющее весовую функцию [14, 15].

Результатом работы программы являлся частотно-временной спектр, характеризующий интенсивность звуков на различных частотах в единицу времени.

Количественный анализ звуков осуществляли при вычислении Интегрального Показателя Мощности Сигнала (ИПМС) по формуле:

$$ИПМС = (S_{общ}/S_{сигн}) \times 100 \%,$$

где ИПМС – принятое нами название показателя мощности сигнала, выраженного в процентах; $S_{общ}$ – общая площадь картины спектрального анализа в пикселях; $S_{сигн}$ – площадь полезного сигнала на этой картине, выраженная в пикселях, получаемая после отсеивания паразитных сигналов.

В акустике мощность звука – работа, совершаемая звуковой волной при прохождении через единицу площади поверхности в единицу времени.

Вычисления ИПМС проводили в трех частотных диапазонах. Первый диапазон – 180-1000 Гц представляет низкочастотные звуки, возникающие при трении суставных поверхностей во время движений. Нижняя его граница – 180 Гц обусловлена большим количеством помех в области 0-180 Гц, связанных с частотой переменного тока в сети электропитания, низкочастотной вибрацией от проходящего транспорта и др. Эта граница определена нами экспериментально путем звукозаписи в состоянии покоя. Верхняя граница диапазона – 1000 Гц – характеризует распространение низкочастотных звуков, названных нами «симптомом крепитации».

Второй частотный диапазон – 1000-2000 Гц – представляет область распространения звуков высокой частоты с малой продолжительностью – около 1/10 секунды, названных нами «симптомом щелчка».

Третий частотный диапазон высокоинтенсивных непродолжительных по времени звуковых явлений, названных «симптомом щелчка», имеет частоту выше, чем во втором диапазоне и достигает соответственно 2000 Гц и более (рис. 1).

Отсутствие звуковых явлений во всех частотных диапазонах свидетельствует о резком снижении суставного трения, что связано со скоплением

излишков синовиальной жидкости в суставной полости, особенно заметно в линейных формах на рисунке 1, В.

При качественной оценке артрофонограмм явления «крепитации» оценивали визуально по выраженности как сильную, среднюю и слабую. Подсчитывали явления «щелчка», наличие или отсутствие их повторяемости оценивали визуально. Результаты наблюдений приведены в таблице 2.

Статистический анализ данных проводили следующим образом: с целью уменьшения дисперсии признаков выполняли нормализацию данных путем логарифмического масштабирования по формуле:

$$X_n = \ln(X + 1),$$

где X – показатель ИПМС, а X_n – нормализованное значение X .

Вторым этапом анализа служило определение нормальности распределения полученных признаков методом Колмогорова-Смирнова [20]. Убедившись в нормальности распределения, определяли средние величины (M) и ошибки средних (m). Интервал $M \pm m$, полученный у обследованных первой группы (табл. 3), приняли за норму в каждом частотном диапазоне.

Полученные данные первой группы позволили определить специфичность диагностики состояния трущихся поверхностей коленных суставов методом трибологического исследования – артрофонографии как долю негативных результатов в группе здоровых обследованных. Специфичность (Sp) методики составила 0,673 (0,065). В остальных группах определяли чувствительность, как долю позитивных результатов в группе больных обследованных и прогностическую ценность как вероятность наличия заболевания при известном результате исследования (табл. 4).

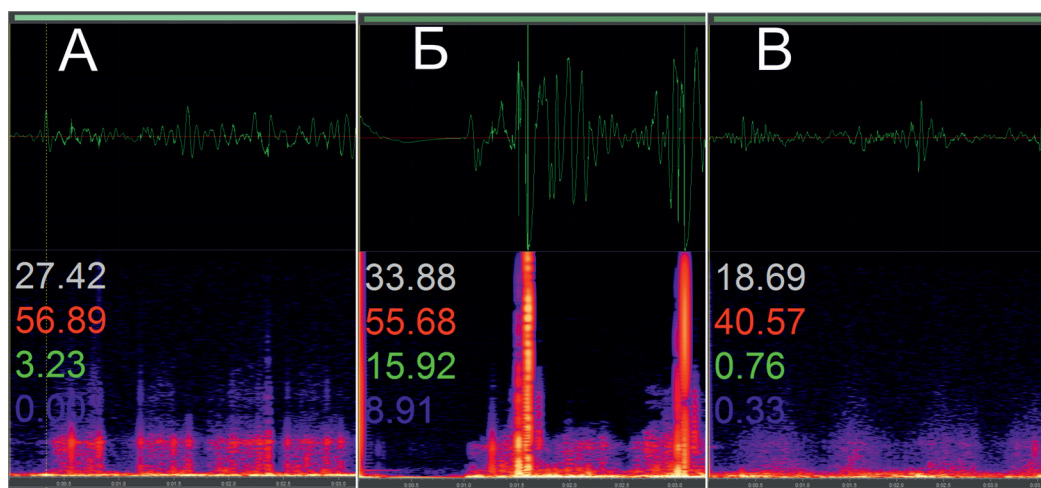


Рис. 1. Явления «крепитации» (А), «щелчка» (Б) и отсутствие явлений на артрофонограммах (В)

Таблица 2

Группы обследованных	«Крепитация»	«Щелчки»	Повторяемость щелчков
1. Без патологии	слабая	отсутствуют	—
2. Деформирующий артроз I-II степени с синовитом	средняя	редкие	нет повторяемости
3. Деформирующий артроз I-II степени без синовита	сильная	множество	нет повторяемости
4. Застарелое повреждение мениска	средняя	частые	есть повторяемость
5. Ревматоидный артрит	слабая или отсутствует	редкие	нет повторяемости

Таблица 3

Значения ИПМС трёх частотных диапазонов у обследованных 1-5 групп

Группы обследованных	Частотный диапазон, М±m, ед.		
	180-1000	1000-2000	2000-3000
1. «Норма»	47,11±1,14	6,96±0,58	2,71±0,35
2. «ДОА I-II ст. с синовитом»	34,22±0,73	2,27±0,22	0,60±0,08
3. «ДОА I-II ст. без синовита»	55,74±0,85	6,80±0,69	2,27±0,41
4. «Повреждение мениска»	37,83±1,85	13,92±0,92	1,97±0,46
5. «Ревматоидный артрит»	32,38±1,14	2,72±0,30	0,58±0,09

Таблица 4

Чувствительность артрофонографии

Группы обследованных	Чувствительность (Se),	Доверительный интервал	Прогностическая ценность (PV)
2. Деформирующий артроз I-II степени с синовитом	0,691	0,045	0,13
3. Деформирующий артроз I-II степени без синовита	0,562	0,066	0,07
4. Застарелое повреждение мениска	0,733	0,047	0,02
5. Ревматоидный артрит	0,77	0,074	0,03

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные значения чувствительности, специфичности и прогностической ценности позволили использовать оценку трибологических характеристик трущихся поверхностей

суставных хрящей коленных суставов методом артрофонографии для диагностики заболеваний и оценки эффективности различных методов лечения.

ВЫВОДЫ

1. Разработанный и апробированный в диагностике состояний коленного сустава программно – аппаратный комплекс «Артрофонограф» позволяет по трибологическим характеристикам оценить состояние нагружаемых поверхностей суставных хрящей.

2. Путем определения ИПМС метод артрофонографии позволяет объективно дифференцировать дегенеративно-дистрофические, посттравматические и пер-

вично-воспалительные поражения коленных суставов.

3. Показатели чувствительности и специфичности позволяют использовать программно-аппаратный комплекс «Артрофонограф» в клинической практике как дополнительный к лучевым и лабораторным методам диагностики и оценки эффективности лечения и как основной для скрининга больших групп обследуемых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лучихина Л. В. Артроз: ранняя диагностика и патогенетическая терапия. М.: Мед. энцикл. РАМН, 2001. 167 с.
2. Квейзер Р., Лейн Н. Как контролировать боль при остеоартрите. Современные варианты лечения // Postgraduate medicine. 1999. No. 4. Vol. 106.
3. Ларцев Ю. В., Гусев С. А., Мордасов В. И. Оптические методы диагностики заболеваний тканей суставов // Медико-технические технологии на страже здоровья: материалы Рос. науч.-практ. конф. Геленджик, 2000. С. 44-46.
4. Перспективные направления ранней диагностики деформирующего артроза коленного сустава / Корнилов Н. Н. [и др.] // Заболевания суставов и современные методы их лечения: сб. науч. тр. СПб., 2002. С. 128-129.
5. Леганова Н. М., Денисова О. А. Оценка эффективности внутрисуставного введения ксефокама у больных гонартрозом, осложненным синовитом, с использованием артроскопии : тез. конгр. ревматологов России // Науч.-практ. ревматология. 2003. № 2, приложение.
6. Чанцев А. В., Баркаган З. С., Буевич Е. И. Опыт применения артрофонографии в диагностике и контролируемой терапии гемофилических артропатий // Гематология и трансфузиология. 1996. № 5. С. 26.
7. Балабанова Р. М., Федина Т. П., Цурко В. В. Динамика активности синовита после внутрисуставного введения ксефокама больным ревматоидным артритом (данные клинического и инструментальных методов исследования) // Терапевт. архив. 2003. № 5. С. 33.
8. Изменения, развивающиеся после повреждения менисков коленного сустава в симметричном суставе / А. В. Чанцев [и др.] // Вестн. травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. 2000. № 1. С. 70-71.
9. Влияние электромагнитного поля на трибологические характеристики синовиальной жидкости / Ю. М. Чернякова [и др.] // Трение и износ. 2003 (24). № 6. С. 636-640.
10. Купчинов Б. И., Ермаков С. Ф., Белоенко Е. Д. Биотрибология синовиальных суставов. Минск: Веды, 1997.
11. Соловьянова И. П., Шабуни С. Н. Теория волновых процессов. Акустические волны. Екатеринбург: Изд-во ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. 145 с.
12. Устройство для регистрации суставных звуков : пат. 60854 Рос. Федерация. № 2006128090/22; заявл. 02.08.2006; опубл. 10.02.2007, Бюл. № 4.
13. Свидетельство о государственной регистрации программного обеспечения «Артрофонограф» № 2010613213 от 14.05.2010 г.
14. Афонский А. А., Дьяконов В. П. Цифровые анализаторы спектра, сигналов и логики / под ред. В. П. Дьяконова. М: СОЛОН-Пресс, 2009. С. 248.
15. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. СПб: Питер, 2006. 751 с.
16. Рахмилевич А. Б., Чанцев А. В., Распопова Е. А. Возможности артрофонографии в диагностике и контроле лечения ранних стадий остеоартроза // Врач-аспирант. 2010. № 6 (43). С. 45-49.
17. Роль артрофонографии коленного сустава в дифференциальной диагностике ревматоидного артрита и деформирующего остеоартроза при ранних поражениях / А. Б. Рахмилевич [и др.] // Врач-аспирант. 2010. № 6.4 (43). С. 549-552.
18. Рахмилевич А. Б., Чанцев А. В., Распопова Е. А. Роль артрофонографии в оценке эффективности лечения повреждений и заболеваний коленных суставов // Сибирский мед. журн. 2011. № 1. С. 105-108.
19. Рахмилевич А. Б., Чанцев А. В., Распопова Е. А. Суставное трение в норме // Врач-аспирант 2011. № 2.4 (45). С. 629-636.
20. Зайцев В. М., Лифляндский В. Г., Маринкин В. И. Прикладная медицинская статистика. М.: Фолиант, 2006. 432 с.

Рукопись поступила 05.09.2011.

Сведения об авторах:

1. Рахмилевич Александр Борисович – Алтайский Государственный Медицинский Университет, г. Барнаул, кафедра травматологии, ортопедии и ВПХ, ассистент, e-mail: santaro@yandex.ru.
2. Чанцев Александр Вениаминович – Алтайский Государственный Медицинский Университет, г. Барнаул, кафедра травматологии, ортопедии и ВПХ, доцент, к.м.н.
3. Распопова Евгения Алексеевна – Алтайский Государственный Медицинский Университет, г. Барнаул, кафедра травматологии, ортопедии и ВПХ, д.м.н., профессор.
4. Коломиец Андрей Александрович – Алтайский Государственный Медицинский Университет, г. Барнаул, кафедра травматологии, ортопедии и ВПХ, заведующий, д.м.н., профессор.