

Глава 3

Дополнительные методы исследования суставов

Гониометрия

Метод *гониометрии* (измерения объема движений) позволяет изолированно изучать отведение, приведение, сгибание, разгибание и ротацию суставов. Оценка амплитуды движений производится с помощью специальных инструментов — *гониометров*, которые чаще всего имеют две branши, на одной из которых установлена градуированная шкала (в градусах). Branши располагают по продольной оси сустава (например, по наружнобоковой поверхности бедра и голени, согласно проекции бедренной и малоберцовой костей для коленного сустава, ориентируясь на латеральную лодыжку и большой вертел). Узел вращения такого гониометра устанавливают над проекцией суставной щели. Существуют гравитационные и комбинированные угломеры.

Разработан гониометр для *комплексного измерения* движений в суставах верхних, нижних конечностей и позвоночника. Прибор содержит трубу шины, установленную на ось сельсина, в которой размещена штанга, фиксируемая зажимом. На трубе и штанге телескопической шины располагаются резиновые присоски. Сельсин укреплен на ползунке, вертикально перемещающемся по стойкам и под действием уравновешивающегося груза, расположенного в направляющей трубе. Он соединен с ползунком тросом, перекинутым через блоки. Требуемое положение оси сельсина устанавливается по шкале линейки высотомера, находящегося на стойке, и стрелке, расположенной на ползунке. Стойка служит также основанием для выдвижного стула. Сигнал, вырабатываемый сельсином, передается по кабелю на измерительное устройство, где синхронно и регистрируется. При измерении движений сгибания-

разгибания в суставе ось сельсина совмещают с осью плеча, бедра и т.д. Выполнение телескопической и соединяемой с суставами шины с помощью присосок значительно улучшает функциональность гониометра, повышает его точность, обеспечивает компактность и технологичность.

Устройство для определения объема движений в *голеностопных* и *тазобедренных* суставах состоит из корпуса цилиндрического одноступенчатого редуктора, в котором размещены две шестерни — ведущая, укрепленная на коленчатом валу, и ведомая на выходном валу. В шейке коленчатого вала располагается крестообразная планка, которая фиксируется в требуемом положении. В ней и муфте конического редуктора выполнены отверстия для установки штырей стоподержателя. На выходных концах валов устанавливаются датчики измерительных устройств. Стоподержатель содержит пяткодержатель, ремень фиксации стопы, две продольные планки, по которым передвигается передняя опорная площадка стопы с фиксирующим ремнем. Передняя подвижная площадка стоподержателя устанавливается по шкале откидной планки, взаимодействующей пазами с пальцем щеки площадки. Благодаря кинематическому соединению валов устройства его функциональные возможности существенно возрастают за счет измерений двусторонних движений — наклонных (приведение-отведение) и ротационных в голени и тазобедренном суставе.

С целью оценки двигательной функции суставов *плечевого пояса* предложен жидкостный гониометр, который дает возможность одному исследователю, не прибегая к дополнительной помощи, измерять практически полный объем активных и пассивных движений (кроме внутренней ротации плеча при руке, прижатой к боку). Прибор представляет собой измерительный диск, подвижно закрепленный на фиксирующей манжете, который имеет шкалу и полость, заполненную жидкостью и воздухом. Угломер закрепляется на руке обследуемого так, чтобы плоскость измерительного диска совпадала с плоскостью, в которой будет проводиться движение. Для исследования сгибания, разгибания и отведения гониометр располагают на нижней трети плеча, а для ротационных движений — на нижней трети предплечья. При измерении отведения учитывается факт, что ось плеча (опущенной вниз руки) во фронтальной плоскости не совпадает с вертикальной линией, а составляет с ней небольшой угол. Он легко определяется обычным угломером с браншами. Определение исходного угла отведения (ИУО) необходимо для правильной коррекции показаний жидкостного угломера. При этом возможны два варианта измерений: 1) в исходном положении уровень жидкости, принимаемый за рабочий, должен смещаться относительно «0» шкалы на величину ИУО в положительную сторону; 2) к полученному результату при измерении «0» шкалы гониометра (истинное отведение) прибав-

ляется величина ИУО, поскольку общепринятая норма отведения 180° считается от вертикали. Ось опущенной руки в сагиттальной плоскости совпадает с вертикальной линией, поэтому при таком измерении уровень жидкости гониометра совмещается с «0» его шкалы.

При оценке ротационных движений плеча рука отводится до 90° и сгибается в локтевом суставе так, чтобы ось предплечья была перпендикулярна фронтальной плоскости. В этом положении, принимаемом за исходное, угломер закрепляют на нижней трети предплечья в сагиттальной плоскости, а рабочий уровень жидкости совмещают с «0» шкалы. Необходимым условием для исследования наружной ротации плеча является горизонтальное положение больного. Изучение внутренней ротации в положении приведения руки выполняется с помощью специального угломера. Он представляет собой кольцо со шкалой и совмещенной ручкой. В зависимости от толщины измеряемого сегмента конечности подбирается диаметр такого гониометра. Техника измерения следующая. На руку наносится метка в месте наименьшего смещения мягких тканей относительно кости (в случае измерения ротации плеча — в области локтевого отростка). Затем предплечье помещают внутрь кольца угломера до уровня плоскости, в которой производится гониометрия, и совмещают «0» шкалы прибора с меткой на коже. После этого производятся активные и пассивные ротационные движения, во время которых метка смещается относительно шкалы угломера, показывая амплитуду измеряемого движения в градусах. Наружная и внутренняя ротации при руке, отведенной до прямого угла, составляют 90° , а такие же движения с прижатой к телу рукой — соответственно 60 и 90° .

Существует стационарное устройство для измерения движений в шейном отделе позвоночника в трех плоскостях. Оно состоит из двух вертикальных стоек, укрепленных на третьей, П-образной, имеющей шкалу ростомера. По стойкам перемещается ползун, уравновешенный грузом (расположен в направляющей трубе и соединен скобой ползуна с тростом). В ползуне горизонтально расположена штанга, оканчивающаяся указательной стрелкой. На конце штанги укреплен сельсин, а на его валу имеется рычаг, по которому перемещается кулиса. Последняя зацеплена со шлемом для головы. При измерении двусторонних движений в шейном отделе позвоночника исследуемого усаживают на стул лицом к прибору и надевают на голову шлем. По шкале стойки устанавливают ось сельсина в положение, совпадающее с нижним краем подбородка или находящегося на уровне остистого отростка VII шейного позвонка. Сигнал, вырабатываемый сельсином, передается по кабелю на измерительное устройство, где синхронно регистрируется на шкале стрелкой. Нормальные гониометрические показатели представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Нормальные гониометрические показатели суставов (в градусах)

Суставы	Активные движения		Пассивные движения	
	Разгибание	Сгибание	Разгибание	Сгибание
Межфаланговый I пальца кисти	0	80–90	0	85
Проксимальный межфаланговый II–V пальцев кисти	0	80–90	0	90
Дистальный межфаланговый II–V пальцев кисти	0	90–100	0	100
Пястнофаланговый I пальца	0	45	0	45
Пястнофаланговый II–V пальцев	0	80–90	0	90
Запястно-пястный I пальца в сагиттальной плоскости	–	80	–	90
Запястно-пястный I пальца во фронтальной плоскости	–	90	–	90
Лучезапястный в ульнарную сторону	–	90	–	90
Лучезапястный в радиальную сторону	80	70	90	70
Локтевой	0	150	0	150
Плечевой с фиксацией лопатки	60	90	60	90
Плечевой без фиксации лопатки	60	180	70	180
Тазобедренный с согнутым коленным суставом	0	150	0	100
Тазобедренный с прямой ногой	0	90	0	160
Коленный	0	150	–	–
Голенистопадный	30	50	–	–
Плюснефаланговый	0	45	0	50
Проксимальный межфаланговый II–V пальцев стопы	0	50	0	60
Дистальный межфаланговый II–V пальцев стопы	0	40	0	50
Шейный отдел позвоночника	50–60	45	–	–
Грудной отдел позвоночника	–	40	–	–
Поясничный отдел позвоночника	–	40	–	–

Предпринимаются попытки объективной оценки *податливости* суставных *контрактур*. Определяется усилие, необходимое для увеличения амплитуды движения на какую-то стандартную величину угла. Предложен даже специальный прибор (контрактурометр), действие которого основано на том же принципе. Рекомендуется оценивать стойкость кон-

трактур с помощью приборов для тренировки и тестирования суставно-мышечного аппарата, которые состоят из двух модулей: 1) перемещаемых по направляющим платформы и перпендикулярно ей станин для крепления силовой установки; 2) блока управления силовой установкой, соединенного с персональным компьютером. Процедура тестирования отдельного звена кинематической цепи (например, коленного сустава) заключается в следующем. Пациент сидит в кресле, его туловище с помощью ремней фиксировано к спинке, проксимальный сегмент (бедро) — к сиденью, дистальный (голень) — к специальной насадке, закрепленной на оси силовой установки, которая совпадает с осью тестируемого сустава. В зависимости от задачи исследования электродвигатель силовой установки либо оказывает противодействие движению дистального сегмента конечности, либо обеспечивает его пассивное перемещение.

Эти приборы позволяют с достаточной точностью регистрировать углы движения и силу сопротивления в пассивном режиме, мышечную работу в изотоническом, изометрическом, изокинетическом и эксцентрическом режимах. Все параметры записываются и обрабатываются персональным компьютером. Алгоритм тестирования сводится к определению функции, описывающей зависимость мышечной работы (момент вращения) от времени (представляется в виде графиков и цифровых значений ряда стандартных показателей — максимального, среднего момента вращения, общей работы и др.). Затем проводится их анализ — сравнение с параметрами кривой, полученными на контрлатеральной конечности. Выявление специфических графических признаков указывает на наличие той или иной патологии.

Исследование стойкости контрактур суставов проводится по следующей *методике*. Больного фиксируют ремнями, что обеспечивает стабильное положение сегментов ноги (бедро, голень) во всем диапазоне заданной амплитуды движений при сохранении соосности коленного сустава и силовой установки. В режиме программирования последней пассивно (рукой врача) задают пределы максимального разгибания и сгибания в коленном сочленении до появления легких болезненных ощущений. Эта амплитуда движений фиксируется процессором. В последующем аппарат переключают на режим «пассивные движения», задают угловую скорость (10 или 30 град/с) с задержкой движения в крайних точках диапазона на 10 с. Регистрируется сопротивление перемещаемого сегмента движению. Результаты измерения представляются в виде графика зависимости момента вращения от времени.

Снижение функциональных свойств капсулосвязочных аппаратов и мышечных сухожилий приводит к возникновению синдрома *гипермобильности* суставов — значительному увеличению угла их сгибания и

разгибания, сопровождающемуся появлением дополнительных неестественных движений. Термин «синдром гипермобильности суставов» введен при описании мышечно-скелетных проявлений повышенной артикулярной подвижности у людей, не имеющих другой патологии. Неестественные сверхдвижения ведут к нестабильности и инконгруэнтности суставных поверхностей, вследствие чего нагрузка на сочленения не распределяется равномерно по всей поверхности, а сосредоточивается на отдельных ограниченных участках, что приводит к дегенерации хряща.

С целью унификации диагностики гипермобильного синдрома разработаны *критерии* для клинико-эпидемиологических исследований:

- возможность пассивного приведения I пальца кисти к предплечью;
- пассивное переразгибание пальцев кисти к предплечью;
- пассивное переразгибание пальцев кисти так, чтобы они располагались параллельно предплечью;
- переразгибание в локтевом суставе $> 10^\circ$;
- переразгибание в коленном суставе $> 10^\circ$;
- пассивное переразгибание стопы.

В последующем второй и пятый критерии заменены на возможности пассивного переразгибания мизинца более 90° и касания пола ладонями при наклоне вперед с выпрямленными в коленных суставах ногами. Таким образом, критерии включают четыре парных и один непарный признак, каждый из которых оценивается в 1 балл. Сумма баллов 9 соответствует генерализованной гипермобильности суставов, 5–8 — выраженной, а 3–4 — легкой сверхподвижности. Следует отметить, что вытяжение суставов пальцев по их продольной оси (поршнеобразное) в нормальных условиях позволяет в известной мере увеличить расстояние между сочленяющимися поверхностями, что влечет за собой повышение существующего интраартикулярного вакуума и вызывает появление легкого хруста. Это наблюдается при гипотонических и атрофических изменениях мышечно-суставного аппарата вследствие врожденных аномалий, неврологических заболеваний и артритов.

Для определения гипермобильности *коленных* суставов предложена специальная установка жесткой конструкции, позволяющая фиксировать бедро и продвигать голень во фронтальной плоскости. Устройство состоит из неподвижного и подвижного фиксаторов, направляющих планок и измерительной шкалы. Определение угла отклонения во фронтальной плоскости осуществляется следующим образом. После фиксации нижней трети бедра оценивают величину отклонения голени (в миллиметрах) медиально и латерально от исходной позиции (ось конечности на шкале соответствует нулевой отметке), а затем измеряют дли-

ну большеберцовой кости. Зная показатели двух координат, по таблице тангенсов вычисляют углы медиального и латерального отклонения в коленном суставе. Для здоровых людей эти величины соответственно равны $2^{\circ} 30' - 4^{\circ} 10'$ и $2^{\circ} 50' - 3^{\circ} 50'$.

Гипермобильность коленных суставов исследуется еще с помощью *рентгенологического функционального* метода, суть которого состоит в следующем. Производится рентгенография сочленений в обычной переднезадней проекции, а затем после создания искусственной варусной и вальгусной деформации. В первом случае больного укладывают на спину и между бедрами на 150 мм выше надколенников помещают валик (диаметр 150 мм), а голени сжимают жгутом до их сближения. Для вальгусной установки коленных суставов используют этот же валик, но прокладывают его между голенищами на 150 мм ниже надколенников, сжимая жгутом бедра до их соприкосновения. У здоровых людей ширина суставной щели латерального и медиального углов сустава в прямом положении составляет соответственно 4,5–5,1 мм и 4,8–6,0 мм, при вальгусной установке — соответственно 3,7–5,1 мм, а при варусной — соответственно 5,7–6,6 мм и 4,2–6,0 мм.

Артрореография

Среди этиологических моментов в развитии заболеваний суставов большое значение придается *сосудистым расстройствам*. Экспериментальные исследования на животных и клинико-морфологические данные доказывают наличие извилистости артериол и капилляров синовиальной оболочки с неравномерным их просветом на всем протяжении, снижение аргентофилии стенки сосудов. Из субхондральной зоны в сторону хряща проникают отдельные сосудистые звенья (в этих участках хрящ значительно истончается). В синовиальной оболочке больных людей выявляются четкие бессосудистые участки, которые чередуются с зонами петливстой капиллярной сети. С возрастом нарастают процессы дегенерации в синовиальной капсуле и суставном хряще, причем степень деструкции последней коррелирует с морфологическими изменениями терминального сосудистого русла.

При анализе состояния *регионарного кровообращения* коленных суставов у больных ОА выявляется прогрессивное снижение кровенаполнения, а начиная со II стадии болезни возрастает тонус артериальных артикулярных сосудов, тогда как эластичность и тонус магистральных артерий до уровня суставов практически не изменяется. Во всех стадиях заболевания без признаков синовита и во II и III стадиях с реактивным

воспалением суставной мембраны регистрируется увеличение сосудистого сопротивления. Тенденция к уменьшению кровенаполнения на фоне повышения тонуса артериол и плохого оттока крови свидетельствует о нарастании периферического сопротивления и застойных явлений в системе микроциркуляторного русла сустава при синовите.

В зоне терминальных артерий и артериол происходит окклюзирование, приводящее к запустеванию капиллярного русла (*магистральная ишемия*). Причиной его могут быть отложение коллагена в стенках артериол и вокруг них. Прогрессирующее запустевание капилляров вызывает повышение резистентности микроциркуляторного русла, компенсаторное открытие артериовенозных шунтов и появление патологического сброса крови в венозную сеть с повышением в ней давления. В результате возникает увеличение объемной скорости максимального венозного оттока, а наступающее кислородное голодание тканей усугубляет заболевание суставов.

Реография — неинвазивный метод исследования кровообращения суставов, который основан на регистрации изменений электрического сопротивления артикулярных тканей, обусловленных меняющимся кровенаполнением: при увеличении последнего сопротивление снижается а при уменьшении, наоборот, растет. Колебания электрического сопротивления регистрируют специальным прибором (*реографом*) в виде кривой — *реограммы*. Синхронно с реограммой регистрируется электрокардиограмма (ЭКГ) для более точной трактовки временных соотношений. На реограмме различают систолическую и диастолическую части (первая обусловлена сердечным выбросом и увеличением кровенаполнения, а вторая — венозным оттоком). Когда кровенаполнение увеличивается, амплитуда кривой возрастает.

Реографический метод применяется для исследования микроциркуляции скелетных мышц, связанных с пораженным суставом. По сравнению со здоровыми людьми у больных с воспалительными и дегенеративными заболеваниями опорно-двигательного аппарата имеются различия в функциональном состоянии регионарного кровообращения, причем кровотоков мышц голени более заметно уменьшается при ОА, чем при артритах. Реографические изменения указывают на нарушения интенсивности кровенаполнения, тонуса сосудов и условий притока и оттока крови.

Реограммы в области пораженных суставов записывают с помощью *реографа* и *электрокардиографа*. Используют различные по форме и размеру электроды (обычно площадью 12–45 см²), что зависит от величины и конфигурации обследуемых сочленений. Кожу в местах наложения электродов обезжиривают. Во время исследования применяют прокладки, смоченные 5% раствором хлористого натрия, а запись производят спустя 3–5 минут после наложения электродов. Продольную реограмму,

полученную при проксимальном и дистальном расположении электродов в области суставов, сопоставляют с синхронно записанной ЭКГ. Нормативные показатели реограмм у здоровых людей представлены в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Параметры реографии суставов

Показатели	Характеристика показателей	Нормальные показатели реографии суставов			
		Л	ЛЗ	К	ГС
R, Ом	Сопротивление периартикулярных тканей в зоне исследования сустава	150–240	180–260	180–280	200–270
Ac, мм	Амплитуда систолической волны	10–17	18–27	11–21	15–25
Ad, мм	Амплитуда диастолической волны	6–12	7–15	6–15	7–13
Рис	Реографический систолический индекс (отношение Ac/E, где E — высота калибровочного сигнала в мм)	1,2–1,6	2,0–2,6	1,6–2,3	2,2–2,7
Рид	Реографический диастолический индекс (отношение Ad/E, где E — высота калибровочного сигнала в мм)	0,7–1,1	0,6–1,4	0,9–1,5	0,7–1,4
L, с	Время подъема систолической волны	0,08–0,13	0,08–0,14	0,11–0,17	0,07–0,16
L/T, 100 %	Отношение времени подъема систолической волны к длительности сердечного цикла (T, с)	10,0–11,5	7,5–14,5	12,0–17,5	8,0–16,0
АЧП	Амплитудно-частотный показатель (отношение Рис/T)	1,3–2,5	2,0–3,4	1,7–3,1	2,0–3,3
Q-Рс, с	Интервал времени от зубца Q на ЭКГ до начала подъема систолической волны на реограмме	0,17–0,22	0,17–0,25	0,21–0,30	0,17–0,36
Q-Рд, с	Интервал времени от зубца Q на ЭКГ до начала диастолической волны на реограмме	0,45–0,57	0,52–0,62	0,57–0,69	0,63–0,69
Vэ, см ³	Эквивалентный объем участка между электродами, измеренный электрическим способом	0,25–0,48	0,32–0,44	0,24–0,65	0,28–0,38

Примечания: суставы: Л — локтевой, ЛЗ — лучезапястный, К — коленный, ГС — голеностопный.

При *качественной* оценке реограмм у больных с патологией суставов отмечается изменение характера вершины систолической волны и ее нисходящей части, что соответствует различной степени нарушения сосудистого тонуса в периартикулярных тканях. Уплощенная систолическая волна чаще наблюдается на реограммах области лучезапястного сустава, седловидная — голеностопного, тип «петушиного гребня» — лучезапястного и голеностопного, пилообразная — лучезапястного, голеностопного и коленного. Встречаются закругленные и уплощенные волны, сглаженность или отсутствие дополнительных волн на нисходящей части кривой, нерегулярность их появления, уменьшение крутизны наклона, что свидетельствует о потере эластических свойств сосудистой стенкой.

Снижение амплитуды систолической волны и увеличение диастолической указывает на уменьшение пульсового кровенаполнения периартикулярных тканей. Уплощение систолической волны выявляется при периферическом сосудистом сопротивлении более $2000 \text{ дин/сек/см}^{-5}$. Изменение ее вершины обусловлено повышением тонуса периферических сосудов, препятствующим нормальному распределению в них крови. Эквивалентный объем является результирующим показателем всех гемодинамических нарушений на уровне пораженных суставов.

При оценке реограмм коленных суставов учитываются *реографический индекс* (отношение амплитуды волны к высоте калибровочного импульса, равного 0,1 Ом), который характеризует величину кровенаполнения, *модуль упругости* (отношение времени анакроты к длительности сердечного цикла — $\alpha/T \%$), отражающий состояние тонуса и эластичность сосудов крупного и среднего калибра, *дикротический индекс* (процентное отношение амплитуд инцизуры и реографической волны), показывающий состояние периферического сосудистого сопротивления, *скорость притока* (РИ/ α) и *оттока крови* (РИ/ β) в относительных единицах за секунду (где РИ — реографический индекс, α — время анакроты, β — катакроты). Кроме того, оценивается *время прохождения пульсовой волны* от зубца Q на ЭКГ до начала реографической волны, что позволяет судить об эластичности и тонусе магистральных сосудов.

Спастические реакции сосудов при заболеваниях суставов во многом обусловлены воздействием болевых импульсов на соответствующие рецепторы. Ангиоспазм, в свою очередь, приводит к нарушению кровообращения в области суставных поверхностей и ухудшению метаболизма хряща. Наряду с ухудшением местного кровотока выявляются изменения общего сосудистого тонуса, асимметрия артериального давления, что усугубляет уже имеющиеся расстройства локальной гемодинамики и рефлекторное повышение тонуса мышц, замыкая тем самым порочный

круг. Реография позволяет получить прямое и достаточно полное представление о величине кровенаполнения в изучаемом участке сосудистого русла как артериального притока, так и венозного оттока, косвенно судить о характере изменений упруговязких свойств стенки артериальных сосудов (тонус, растяжимость, эластичность). Таким образом, реографическое исследование в области суставов занимает достойное место в оценке регионарного кровообращения у больных с ОА и артритами.

Артрополярография

Прогрессирование заболеваний суставов определяется нарушением регионарного кровотока, реологических свойств крови и выраженностью *капилляротрофической недостаточности*. С точки зрения оценки микроциркуляции используется метод *полярографии*, который позволяет определять интенсивность *напряжения кислорода* (pO_2) в околосуставных мягких тканях. Поскольку между мышечным и кожным кровотоком существует прямая зависимость, изучается кислородный режим в коже над пораженными сочленениями. В связи с тем, что подкожно определяемое pO_2 зависит от индивидуальных особенностей капиллярной сети, состояние кровообращения определяют еще в области средней трети предплечья (контроль).

Исследование проводится с использованием *полярографа*, игольчатого платинового индикаторного и хлорсеребряного референтного *электродов* в хроноамперическом режиме при температуре воздуха в комнате 20–22°C. Платиновый электрод (рабочий диаметр 0,3 мм с открытой поверхностью 1 мм) вводится подкожно; хлорсеребряный анод помещают в сосуд с физиологическим раствором, в который опускают палец исследуемого для замыкания цепи. Оба электрода в соответствии с их полярностью подключают к прибору. На платиновый электрод подается напряжение 0,5 В. Полярографическое определение pO_2 проводят подкожно в околосуставных тканях и средней трети предплечья.

Для расчета pO_2 в подкожной клетчатке применяют следующую формулу:

$$pO_2 = [i \cdot 0,21 \cdot (D - P)] : (i_1 - i_2),$$

где i — сила кислородного тока в ткани (10^{-7} А), i_1 — сила тока в бескислородном растворе (10^{-7} А), i_2 — сила кислородного тока в физиологическом растворе (10^{-7} А), D — атмосферное давление (мм рт.ст.), P — давление паров воды при данной температуре (мм рт.ст.).