

АКАДЕМИК В. В. ПАРИН
Р. М. БАЕВСКИЙ

Медицина и техника



6 НАРОДНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



ФАКУЛЬТЕТ
ЗДОРОВЬЯ

В. В. ПАРИН,
академик
Р. М. БАЕВСКИЙ,
доктор медицинских наук

Медицина и техника

Издательство «Знание» Москва 1968

ПРЕДСТАВЛЯЕМ АВТОРОВ

Василий Васильевич ПАРИН, — академик, действительный член Академии медицинских наук СССР, член Международной академии астронавтики, доктор медицинских наук, профессор. Родился в 1903 г. в 1925 г. окончил медицинский факультет университета. В течение почти полувека В. В. Парин осуществляет широкие исследования в области физиологии и патофизиологии кровообращения, результаты которых получили признание в нашей стране и за рубежом. Большое место в его исследованиях занимают работы, посвященные вопросам применения достижений радиоэлектроники и кибернетики в биологии и медицине. Являясь председателем Секции биологической и медицинской кибернетики Совета по кибернетике АН СССР, В. В. Парин оказывает большое влияние на внедрение в практику здравоохранения и клиническую медицину новых методов исследования и новых приборов. В течение последнего десятилетия В. В. Парин в содружестве с коллективом исследователей разрабатывает проблемы космической биологии и медицины. Широкую известность получили его труды о влиянии факторов полета на физиологические функции человека, а также по методологии медико-биологических измерений в космосе. В. В. Париным опубликовано около 200 научных работ, в том числе несколько монографий.

Роман Маркович БАЕВСКИЙ, — доктор медицинских наук. Родился в 1928 г., в 1952 г. окончил медицинский институт. Исследования его посвящены проблемам кардиологии, медицинской электроники, кибернетики и космической медицины. Им опубликовано около 100 научных работ. В настоящее время основные интересы Р. М. Бавевского и руководимого им коллектива связаны с автоматизацией медицинских измерений и разработкой новых методов исследования.

Герой Социалистического Труда,
академик

А. И. Берг

Введение



Мы живем в удивительно интересное время. Бурные темпы научно-технического прогресса охватывают все без исключения области знания, производственной деятельности и социальной жизни людей. Атомная энергетика, цветное телевидение и полеты в космос постепенно начинают восприниматься нами так же естественно, как автомобиль, телефон или холодильник. А все более широкое использование вычислительных машин и различных автоматов срывает завесу таинственности с кибернетики, о роли и месте которой еще 10 лет назад шли горячие споры. В наше время вполне обоснованно можно говорить о подлинной научно-технической революции, начавшейся еще в 40-е годы XX столетия и в своем непрерывном развитии достигшей теперь колоссального размаха.

Процесс технического перевооружения властно захватил и одну из самых древних на земле наук — медицину, явился надежной основой целого ряда новых достижений ее теории и практики. Однако достижения техники в медицине менее заметны, чем, например, в космонавтике или энергетике, где прогресс может быть измерен увеличением дальности и точности полета космических кораблей или повышением мощностей электростанций. Ведь успехи медицины определяются по эффективности распознавания и лечения болезней, а здесь почти невозможно вычленишь и измерить роль и значение знаний, опыта, интуиции врача, эффективности и специфичности лечебных средств и применяющихся технических методов. Может быть, поэтому среди определенной части людей бытует мнение, что хороший врач не нуждается ни в каком техническом оснащении и ставит диагноз, как говорят, «с первого взгляда».

В этой книге речь пойдет о роли техники в современной медицине. Мы расскажем не только о новых приборах, позволяющих лучше диагностировать заболевания, не только о технических новинках, сделавших возможными, например, операции на сердце, не только об аппаратах для электросна или лечения ультразвуком. Главное, что хотелось бы донести до читателя, прежде всего то новое понимание колоссальной сложности живого организма, которое стало возможным лишь в последнее время благодаря все возрастающему внедрению в медицину точных методов исследования. Новые горизонты, открывшиеся перед врачами и биологами, позволяют лучше понять роль и смысл каждого исследования и извлекать из него

значительно больше полезных сведений о больном, чем прежде. Приведем хотя бы один пример. Проверка пульса — это то, с чего обычно начинается любое врачебное обследование. При этом, прощупывая у больного пульс, врач не только судит о его частоте и регулярности ритма, он еще определяет и «наполнение» пульса, т. е. приблизительно узнает, достаточно ли крови выбрасывается сердцем в сосуды. При некоторых заболеваниях (сосудистом коллапсе, инфаркте, обмороке), когда пульс еле прощупывается, нередко говорят о «нитевидном» пульсе — сокращения сердца слабы, крови выбрасывается недостаточно, необходимо принимать срочные меры.

По пульсу врачи распознают и нарушения сердечного ритма. Однако совсем недавно стало известно, что имеются закономерные колебания частоты пульса с интервалами в 1 минуту, в 5, 15 и 30 минут, а также часовые колебания. О наличии суточной периодики и об изменениях пульса при дыхании (на вдохе ритм сердца учащается, на выдохе становится реже) было известно уже давно. Проведенный современный математический анализ этого явления показал, что выраженность и соотношение этих колебаний позволяют судить о состоянии сосудистых центров головного мозга и определять некоторые отклонения в регуляции сердечной деятельности. А это имеет важное значение для ранней диагностики таких заболеваний, как гипертоническая болезнь и др.

Выявление и регистрация периодических дыхательных минутных, часовых колебаний пульса и анализ выраженности этих колебаний стали возможными только в результате применения специальной аппаратуры и вычислительных машин.

Так новые технические средства расширяют «отдачу» даже старых, давно известных методов.

Нередко приходится слышать высказывания о том, что многочисленные анализы, кардиограммы, рентгеновские снимки отдаляют больного от врача, делают их общение менее живым и непосредственным, придают врачебной деятельности формальный характер. Нет-нет да и услышишь разговор о том, что хороший врач должен, мол, ставить диагноз «сам по себе», без специальных исследований.

Давайте разберемся в этом вопросе, ибо он имеет прямое отношение к роли техники в медицине.

Надо сказать, что в определенной степени современный врач в хорошо оборудованном советском лечебном учреждении отдален от больного разнообразными диагностическими процедурами, которые производятся обычно без его участия. (Назначили, например, Вас на электрокардиографическое исследование и Вами занимается не лечащий врач, а специалист-электрокардиолог). Но этот процесс специализации медицины вполне закономерен и в будущем будет продолжаться. Главное же состоит в том, что с первых дней Октября, а за последние десятилетия в особенности, коренным образом изменился сам ха-

рактик советской практической медицины. Она уже давно приобрела ярко выраженную профилактическую направленность. Отсюда возросла и обращаемость за медицинской помощью, причем основной поток составляют люди с нечетко выраженными признаками заболевания, с ранними или скрытыми формами патологии, диагностика которых подчас затруднена.

Нынче, пожалуй, уже не встретишь «первичного» обращения с застарелым пороком сердца и недостаточностью кровообращения, где сердечные шумы, бледность, синюшность кожи и отеки позволяют поставить диагноз с первого взгляда студенту-старшекурснику медвуза. Сейчас от врача ждут диагностики самого высокого класса, а она требует соответствующего оснащения, и чем лучше технически вооружен врач, тем точнее диагноз и тем эффективнее борьба с болезнями. Итак, совершенно ясно, что техническое перевооружение медицины будет продолжаться все возрастающими темпами. Мы постараемся рассказать здесь не столько о возможностях существующей в настоящее время медицинской техники, сколько о том, что сегодня еще создается в лабораториях ученых, а завтра поступит на вооружение практической медицины.

Мы считаем нужным не столько описывать разные приборы и аппаратуру, сколько осветить направляющие идеи, положенные в их основу, и главные принципы, на которых зиждется дальнейший технический прогресс медицины. Поэтому разговор пойдет о математике и бионике, кибернетике и физике, о космической биологии.

Известно, что самые значительные успехи современной науки обязаны работам в «зоне контакта» различных дисциплин, а тема этой книги — медицина и техника — как раз и представляет собой самый тесный творческий контакт медицины и физиологии с точными науками и инженерной практикой.

Удастся ли нам донести до читателя дух творческих поисков и практической направленности, характерный для медицинской науки сегодняшнего дня? Мы с благодарностью примем все отклики, все критические замечания с указанием недочетов или излишних сложностей в изложении идей и фактов в этой книге.

Нужны ли врачам математика и электроника?



дними из самых древних наук на земле являются, пожалуй, медицина и астрономия. Первая развилась в связи с задачами лечения больных и раненых, вторая возникла из потребностей земледелия и мореплавания.

Уже древние астрономы умели предсказывать затмения Солнца, фазы Луны, положение звезд на небе. Современная астрономия располагает методами для измерения расстояний до отдельных звезд и скорости движения галактик. А медики все еще не научились достаточно точно предсказывать течение заболеваний или определять степень «изношенности» отдельных органов человека. (Ведь инфаркты возникают внезапно!)

Почему мы не умеем предвидеть развитие инфаркта миокарда заранее, за несколько дней или часов? Ведь если бы мы могли распознавать тончайшие изменения в сердечной мышце и питающих ее сосудах, которые непосредственно предшествуют инфаркту, то стала бы возможной самая активная профилактика этого тяжелого заболевания!

Разительный контраст между точностью предсказаний в астрономии и медицине прежде всего объясняется громадной сложностью биологических объектов и трудностями их изучения. Но в определенной мере такое положение обусловлено и разным удельным весом математики в этих науках. К. Маркс считал, что наука только тогда достигает совершенства, когда ей удается пользоваться математикой¹.

Почему автомобиль после 100 тысяч километров пробега подвергают предупредительному ремонту, заменяя отдельные детали или целые агрегаты, а человек ложится в больницу обычно только тогда, когда в нем уже «сломались» те или иные «механизмы»? Наконец, почему грузоподъемность кораблей, самолетов, автомашин строго рассчитана и ее превышение категорически запрещено (известны последствия!), а «грузоподъемность» человеческого организма (умственная, эмоциональная, физическая) нами, как правило, в повседневной жизни не учитывается (разве последствия не известны?).

¹ Поль Лэфарг. Воспоминания о Марксе. — В сб. Воспоминания о Марксе и Энгельсе. Госполитиздат, 1956, стр. 66.

В современном мире, со все более ускоряющимися темпом развития науки и промышленности, сложная взаимосвязь между людьми внутри общества и между человеком и техническими системами порождает такие «болезни века», как гипертония, гиподинамический синдром (заболевание, обусловленное сидячим образом жизни, малой подвижностью), психические расстройства. Особенного распространения достигли эти недуги в капиталистических странах, где волчий закон конкуренции и всеисильные деньги управляют и человеческим достоинством и человеческим счастьем. Иное дело наша страна, строящая коммунизм, в которой отношения людей определяются формулой «человек человеку друг, товарищ и брат». Наша социальная система создает все предпосылки для широкого практического применения научных основ медицины и физиологии в деле охраны здоровья населения, создает возможность наилучшего использования сил и способностей каждого человека в интересах общества. Вот почему задачи внедрения математических методов в биологические науки, в медицину приобретают в настоящее время важное государственное значение.

Отсутствие у врачей возможности хотя бы приблизительно рассчитать «надежность» отдельных систем и организма в целом, достаточно точно предвидеть течение тех или иных заболеваний, вычислять оптимальные для данного индивидуума дозы лечебных средств — все это результат прежнего господства эмпиризма в медицине, имеющего тысячелетнюю историю. В древние и средние века медицина была больше искусством, чем наукой. Только с началом использования технических средств и математических методов биологи и врачи становятся на подлинно научную платформу.

Изобретение микроскопа и открытие Левенгуком микробов является ярким примером революционного преобразования медицины, начавшегося в XVI—XVII веках. Но в те времена слишком медленными были темпы развития техники, и лишь в последние 100 лет научно-технический прогресс все в большей степени начал вовлекать в свою орбиту и медицину.

Видную роль во внедрении технических методов в физиологию и медицину сыграли русские ученые. Выдающийся терапевт С. П. Боткин был инициатором широкого применения в клинике лабораторно-инструментальных исследований. Наши соотечественники В. Я. Данилевскому (1891) и В. В. Правдич-Неминскому (1913) принадлежит честь открытия и введения в обиход физиологии способов регистрации биопотенциалов мозга. Известный русский ученый Н. Е. Введенский чрезвычайно остроумно применил тогдашнюю новинку — телефон. Он включил его в ...мышечную систему человека и по сигналам определял электрические явления в мышцах. (Дело в том, что в то время не было гальванометров, способных фиксировать столь быстрые колебания тока, которые возникают в мышце). По воспоминаниям А. Ф. Самойлова, Н. Е. Введенский на

съезде естествоиспытателей и врачей в Одессе в 1884 г. чрезвычайно искусно воспроизводил звуки, которые он слышал в телефон — «голос мышцы». Эти опыты, по существу, явились днем рождения электромиографии, ставшей теперь не только классическим методом физиологии, но незаменимой в ряде случаев для диагностики заболеваний мышц и нервной системы.

Достижением науки стали рентгеновские методы, различные виды электролечения, новые диагностические приемы. Но в последние годы медицинская наука и практическое здравоохранение получают особенно много новых приборов и аппаратов. В связи с этим особый смысл приобретает правильная ориентация, правильный взгляд на соотношение медико-биологических и технических аспектов. Одинаково опасными являются и чрезмерный техницизм — увлечение врачей сугубо инструментальным исследованием, и огульное отрицание роли техники в медицине. Диалектический подход к этой сложной проблеме предусматривает гармоничное сочетание оправдавших себя традиционно клинических приемов с современной техникой. Такое сочетание не только количественно, но и качественно изменяет наши возможности в отношении диагностики и лечения заболеваний, углубляет, делает более точными и представления о сущности патологических отклонений, создает предпосылки для научного прогнозирования. При многих заболеваниях диагноз не может быть поставлен достаточно точно только на основании общеклинического обследования. Например, при инфаркте миокарда оценить степень поражения, его локализацию невозможно без электрокардиограммы. Для того чтобы определить нарушение сократительной функции сердца при атеросклерозе, полезно применить метод *баллистокардиографии* — запись ничтожных по амплитуде движений тела человека, связанных с деятельностью сердца. И. Старр в течение 20 лет наблюдал за 100 пожилыми людьми. У 20 из них в первом же исследовании были обнаружены патологические изменения баллистокардиографической кривой. В течение 5—10 лет от инфаркта и других сердечных заболеваний из входивших в эту группу лиц умерло большинство. Из второй группы лиц (80 человек с нормальными при первом исследовании кривыми) умер только один. Это подтверждает, что инструментальное баллистокардиографическое исследование может иметь не только диагностическое, но и прогностическое значение. (Недаром за рубежом страховые компании включили этот метод как один из показателей для определения размера ежегодных взносов за страхование жизни).

Метод расспроса и осмотра больного, а также медицинская техника уровня 20—30-х гг. нашего века, сохраняя в той или иной степени свое значение в клинике, сейчас уже недостаточно точны и чувствительны как для распознавания заболеваний, так и решения вопроса о выборе правильного пути лечения.

Профилактическая направленность нашей медицины застав-

ляет стремиться к выявлению все более ранних форм болезней и скрытых болезненных нарушений. Например, при раковых заболеваниях врачи широко пользуются лучевыми воздействиями, которые, оказывая лечебное влияние на злокачественный процесс, вместе с тем неблагоприятно сказываются на окружающих тканях и органах. В частности, при лечении опухолей брюшной полости могут возникать радиационные поражения почек. В последнее время раннему выявлению так называемых радиационных нефритов придается особое значение. Для этой цели в кровь вводят препарат неогидрин, в состав которого входит меченая ртуть. В итоге происходит включение ртути в почечную ткань, и по степени насыщения почек радиоактивной ртутью (что определяется с помощью счетчиков гамма-бета-излучений) можно судить о функциональной способности почечной ткани. Таким методом выявляют уменьшение функции еще до того, как появляются жалобы больного и изменения состава мочи¹.

Для решения огромных теоретических и практических задач, стоящих перед медициной, необходимо широкое внедрение новых методов исследования и лечения и новых технических средств. Нужно радикальное, революционное обновление методов и приемов диагностики и лечения, использование новейших достижений точных наук и техники. Великий русский физиолог И. П. Павлов писал: «...Наука движется толчками, в зависимости от успехов, делаемых методикой. С каждым шагом методики вперед мы как бы поднимаемся ступенью выше, с которой открывается нам более широкий горизонт, с невидимыми раньше предметами»².

Развитие новых методических приемов находится в прямой зависимости от общего уровня науки и техники. Тем не менее всегда требуется определенное время для того, чтобы технические идеи созрели, чтобы отыскились пути их реализации в конкретных областях науки в виде определенных приборов, устройств, датчиков. В настоящее время скорость прогресса техники поистине колоссальна. Темпы развития медицинской науки также увеличились по сравнению с предыдущим десятилетием. И все же некоторый разрыв между техническими возможностями и практикой здравоохранения сохранился поныне. Очень отрадно, что в последнее время все больше математиков, инженеров, физиков проявляют самый живой интерес к биологическим и медицинским дисциплинам, видя в этой области громадное поле для творческого применения своих знаний и способностей. Несомненно, это намного сократит путь техническим новшествам в медицину.

Но дело не только в росте количества новых приемов и но-

¹ Багдасаров М. Б. Военно-медицинский журнал, 1968, № 1. стр. 50—54.

² Павлов И. П. Полн. собр. соч., т. 2, кн. 2, 1951, стр. 22.
1250—2

вых приборов, имеется еще и другая, пожалуй, более важная *качественная* сторона проблемы. Еще совсем недавно достижения техники оказывали влияние в основном на методическую вооруженность биологов и врачей, не затрагивая фундаментальных представлений их специальностей. Сегодня же точные науки и техника властно врываются в «святая святых» медицины, в представления о сущности болезни и здоровья, о происхождении и течении заболеваний, в теорию лечебных воздействий и прогнозирования.

Математика и кибернетика заставляют пересмотреть многие привычные теоретические медицинские положения. Они не только заменяют качественные эмпирические закономерности количественными, но и дают возможность проверить достоверность существующих в настоящее время представлений и правильность выдвигаемых на основе экспериментальных фактов гипотез. Важную роль при этом играет метод моделирования. Математические и кибернетические модели различных состояний организма, в том числе заболеваний, могут быть воспроизведены с помощью вычислительных машин или электронных устройств.

Примерно 10—15 лет назад кибернетики были увлечены созданием «искусственных живых» систем — электронных «черепах» (это небольшие тележки на колесиках, которым внешне придавался вид черепахи). Вместо глаз электронная черепаха имела фотоэлементы, вместо ушей — микрофон. Осязание имитировалось контактным устройством, замыкающимся при соприкосновении черепахи с препятствием. Моторы обеспечивали движение вперед и назад или повороты. Специальная электронная схема моделировала «разум». При всей своей несложности поведение «искусственного животного» представляет определенный интерес. В темноте черепаха движется беспорядочно. Когда появляется свет, то она быстро его замечает и направляется к нему. Наткнувшись на препятствие, черепаха его обходит. При помощи свистка ее можно остановить или заставить выполнить поворот...

Подобное «разумное» поведение черепахи имеет в своей основе достижения физиологии высшей нервной деятельности и успехи моделирования условных рефлексов. Если с помощью модели удастся воспроизвести некоторые свойства живых организмов, то это означает еще одну победу биологии и медицины, решение еще одной загадки природы.

10 Сейчас ученые работают над моделированием различных физиологических систем, их состояний в норме и патологии. Таким путем может быть проверено соответствие экспериментальных данных определенным теоретическим представлениям.

Благодаря внедрению новых технических средств и использованию точных наук современная медицина добилась больших успехов в диагностике и лечении заболеваний. В результате развития электроники, радиотехники, телевидения, автоматики

появились многочисленные приборы для регистрации биопотенциалов, рентгеновского исследования, электронной микроскопии. Возникли способы эндоскопии (осмотр внутренних полостей организма — желудка, мочевого пузыря, легких и т. п.), сочетанные с фото-, кино-, телевизионной регистрацией. Как для диагностики, так и для лечения используется ультразвуковая аппаратура. Нашли себе плодотворное применение высокочастотные электромагнитные колебания, радиоизотопы, «диагностические» машины. Благодаря всему этому сегодня врачи могут улавливать весьма незначительные качественные и количественные изменения в организме человека, обнаружение которых еще 10—20 лет назад казалось невозможным. Правда, многие из новых технических средств еще не вышли из стен лабораторий и клиник в широкую практику, но определенная задержка вполне закономерна — ведь необходима всесторонняя проверка новинок, тщательный отбор наиболее удачных. Наконец, в любой науке существует этапность выхода теоретических разработок в практику: в то время как одни уже реализованы в виде серийно выпускаемых приборов и установок, другие еще находятся на стадии лабораторных макетов. Это обеспечивает необходимый «задел творческих идей» и позволяет прогнозировать направление и темпы научно-технического прогресса. Сейчас происходит интенсивное техническое и методологическое перевооружение медицины. Использование новой техники, электронных, математических, кибернетических, вычислительных методов позволит достигнуть максимальной эффективности обследования каждого больного. Новейшие достижения медицины будут приближены к «потребителю». Резко сократятся сроки внедрения в широкую практику новых способов диагностики и лечения.

Облегчит ли техника труд врача или сделает его еще более напряженным? Ни то, ни другое. Этот труд предстает качественно иным и по форме и по содержанию. Что касается формы, то уже сегодня начинают использоваться диктофоны и перфокарты вместо традиционных историй болезни. Это, во-первых, экономит труд врача, позволяя ему большую часть своего рабочего времени быть с больными, осмысливать результаты исследований, а не тратить часы на механическое записывание клинических данных в историю болезни. Во-вторых, новые способы хранения медицинской информации создают возможность активного использования полученного опыта диагностики и лечения.

Проблема медицинских архивов и библиотек, в которых систематизированная информация служила бы источником для оперативного сравнения состояния больных в клиниках с историями болезни других больных, уже прошедших ранее курс лечения, в настоящее время интенсивно разрабатывается. Такое сравнение позволяет найти аналогичные случаи в практике своей или других больниц и выбрать наиболее оптимальный

(с точки зрения прошлого опыта) вариант лечения. Метод «клинического прецедента» успешно разрабатывается в целом ряде клинических учреждений, в частности в Институте хирургии им. А. В. Вишневского в Москве.

Что же касается содержания работы врача в период технического перевооружения медицины, то здесь мы вплотную подходим к вопросу, который поставлен как заголовок данного раздела книги: «Нужны ли врачам математика и электроника?»

Постепенное насыщение медицинской практики новыми лабораторными, инструментальными и вычислительными методами резко увеличивает поток информации, обрушивающийся на врача, который не может не считаться с данными многочисленных исследований и должен сопоставить их со своими клиническими наблюдениями. Ему важно отобрать те данные, которые подтверждают его клиническую концепцию. Но иногда приходится по-иному трактовать свои клинические наблюдения, если они не соответствуют лабораторно-инструментальным данным. В простейших случаях общая картина заболевания бывает достаточно ясна и речь идет лишь о тонком различии вариантов клинической картины с целью предвидения возможных осложнений и прогноза. Но бывает так, что приходится диагностировать похожие заболевания, способы лечения которых противоположны.

Не менее сложен вопрос диагностики скрытых нарушений. В таких случаях весьма полезным является вероятностный и статистический подход к анализу данных. Здесь мы вплотную подходим к проблеме использования вычислительной техники и математики. Рассмотрим возможность применения некоторых математических теорий в медицине.

Теория вероятностей позволяет количественно оценивать явления, происходящие в тех случаях, когда нет прямого соответствия между воздействием и ответной реакцией. Элементы живых систем именно так и реагируют, поэтому для оценки биологических реакций мало пригодны методы, требующие линейной и однозначной зависимости между анализируемыми переменными. В основе теории вероятностей лежит представление о случайной величине и случайном процессе. Примером случайной величины могут быть: продолжительность сердечного цикла, температура кожи лба, заболевание гриппом в определенной местности и др. (флуктуации, сопровождающие закономерный процесс, носят случайный характер). В точных науках для построения моделей и даже для расчетов в ряде случаев можно не учитывать эти случайные отклонения и основываться на главных сторонах явления. В биологии при изучении живого организма случайные явления играют важную роль, так как число факторов, действующих на каждый биологический процесс, очень велико. Поэтому применение теории вероятностей, позволяющей оценить процессы, имеющие вероятностный характер (т. е. складывающиеся из множества

случайных явлений), имеет важное методологическое и теоретическое значение. Понятие вероятности и распределения вероятностей в приложении к медицине позволяет придать «количественное истолкование» многим эмпирическим врачебным критериям. Например, известно, что коронарная болезнь встречается чаще в возрасте старше 40 лет, а пороки сердца формируются чаще в возрасте до 40 лет. При коронарной болезни болевой синдром бывает почти всегда, выраженные изменения электрокардиограммы бывают довольно часто, а шумы сердца почти никогда не встречаются. При пороках сердца сердечные шумы наиболее частый симптом, изменения электрокардиограммы обычно незначительны (особенно в начальном периоде заболевания), а болевой синдром встречается очень редко. Таким образом, мы оцениваем частоту заболеваний и их симптоматику словами: «часто», «редко», «всегда», «почти никогда». Ясно, что это эмпиризм. Теория вероятностей позволяет осуществить точный количественный учет в медицинских понятиях заболеваемости, симптомов, синдромов и признаков, и только после введения количественных критериев становится возможным использование современной вычислительной техники для целей диагностики и научного исследования.

Теория множеств позволяет анализировать большие совокупности объектов, их свойства и закономерности. Поскольку биологические системы — это очень сложные вероятностные «построения» с большим числом составляющих элементов, то применение к их анализу понятий теории множеств открывает новые возможности количественной оценки биологических явлений. (Примерами таких множеств могут быть симптомы болезни, показатели, характеризующие определенную физиологическую функцию, нервные клетки одного из центров или совокупность всех нервных элементов коры головного мозга, наконец, целостный, живой организм). Теория множеств позволяет решать задачи о включении одних совокупностей в другие (например, о сумме признаков, входящих в разные синдромы, которые встречались при одной и той же болезни). Это задачи дифференциальной диагностики, когда нужно решить, к какому из множеств относятся выявленные симптомы и составляют ли два или более синдрома искомую болезнь. Задачи подобного типа могут исследоваться также путем определения сумм свойств или произведений множеств.

Теория массового обслуживания рассматривает вопросы, связанные с изучением повторяющихся процессов. Для систем, исследуемых этой теорией, характерна следующая ситуация: имеется несколько равноценных каналов, в которые заявки на обслуживание поступают случайно. Нужно обеспечить наиболее оптимальное распределение потока заявок между каналами. Центральная нервная система, получающая громадный поток информации, фактически является грандиозной системой массового обслуживания. Она обеспечивает «рассмотрение» потока

заявок с периферии, из внутренних органов и из внешней среды, и в ее работе имеются характерные особенности, позволяющие провести различные аналогии. Системы с потерями (отказами) отличаются тем, что если все каналы заняты, то пришедшая заявка остается необслуженной. Например, если человек поглощен интересной работой, он может не услышать оклика, потребуется два или три повторения, прежде чем будет получен ответ. Системы с ожиданием характерны тем, что заявка, пришедшая в момент, когда все каналы заняты, становится «в очередь» (пример: в состоянии сильного эмоционального возбуждения человек может не заметить боль; известно, что некоторые тяжелораненные обнаруживали у себя рану в конце или после боя). Различают чистые и смешанные системы с ожиданием. В чистых системах заявка находится в очереди до тех пор, пока на нее «обратят внимание», в смешанных — заявка покидает систему по прошествии некоторого времени, оставаясь «неудовлетворенной». По-видимому, многие нейродинамические явления взаимодействия процессов возбуждения и торможения, функционирование ретикулярной формации и т. д. могут быть с большой пользой рассмотрены с точки зрения теории массового обслуживания.

Теория игр рассматривает так называемые «конфликтные» ситуации, для которых характерно участие двух или более партнеров, чьи интересы противоположны. Подобные ситуации встречаются в системах управления живого организма и при его взаимодействии со средой.

Кроме конфликтных взаимодействий, существуют и такие, когда имеются общие цели партнеров или общность задачи у всех элементов системы. Конфликтные ситуации встречаются при решении различных биологических и физиологических проблем, в диагностической работе, при разработке автоматических устройств для медицинских целей. Выбор лечения — это типичная «игровая» ситуация с конфликтными отношениями между выбранным лекарственным препаратом, симптомами болезни, условиями жизни больного и возможностями получения необходимого терапевтического эффекта.

Итак, мы видим, что техническое перевооружение медицины приводит к усложнению формы и содержания врачебного труда, к переменам в клиническом мышлении и, несомненно, приводит к новым теоретическим концепциям в медицине. Возрастают и существенно изменяются требования к врачу и к медицинскому работнику.

Должен ли врач знать математику и электронику? На этот вопрос в наше время можно ответить только утвердительно.

Конечно, знание этих дисциплин врачом не может быть таким, как у инженера, потому что объекты приложения этих знаний у них разные. Этого и не требуется, чтобы медик выполнял функции инженера и математика. Но он должен обла-

дать знаниями, которые необходимы для правильной ориентации в новых возможностях технически перевооруженной медицинской науки.

Только совместная тесная творческая работа инженеров и врачей, проникнутых духом взаимопонимания, поможет приблизить время, о котором писал И. П. Павлов: «Вся жизнь от простейших до сложнейших организмов, включая, конечно, и человека, есть длинный ряд все усложняющихся до высочайшей степени уравниваний с внешней средой. Придет время — пусть отдаленное, — когда математический анализ, опираясь на естественнонаучный, охватит величественными формулами уравнений все эти уравнивания, включая в них, наконец, и самого себя».

Успехи медицинской электроники. Соревнование между ухом врача и микрофоном.



Постановка диагноза заболевания — это одна из основных задач практической медицины. Старинная врачебная заповедь гласит: «Кто хорошо диагностирует, тот хорошо лечит». Распознавание болезни представляет собой итог сложного процесса, сущность которого состоит в отражении объективно существующих закономерностей в сознании человека. Установить характер заболевания — значит раскрыть объективную истину. Процесс постановки диагноза осуществляется врачом на основании переработки им информации, получаемой при обследовании больного. Сведения о больном — его жалобы, история развития болезни, результаты объективных клинических и инструментальных исследований должны быть достаточно полными, чтобы правильно установить характер и выраженность болезни. Врачи древности и средневековья не располагали, подобно современным врачам, лабораторными методами, а тем более радиоэлектронной аппаратурой и вычислительной техникой. Они в основном ориентировались на внешние проявления заболеваний, а осмотр и ощупывание больного были, пожалуй, единственными методами исследования.

В наши дни методы сбора информации о больном достигли громадного развития. Медицинская техника сегодняшнего дня отличается следующими особенностями:

1. Возможностью преобразования биологических процессов в явления, легко регистрируемые современными приборами. В основном используют преобразование биологических процессов в электрические, так как электрические измерения наиболее точны и универсальны. С каждым годом техника позволяет все глубже проникать в самые интимные явления живого организма. Так, микроскопические смещения тела при выбрасывании крови сердцем в крупные сосуды регистрируются в виде баллистокардиограммы. Изменения цвета крови, связанные с различной степенью насыщения кислородом, могут быть записаны в виде оксигеомграммы.

2. Возможностью точного количественного, временного и амплитудного анализа исследуемых процессов при высокой чувствительности и быстродействии приборов. В настоящее время могут быть точно измерены колебания температуры, со-

ставляющие одну десяти- или стотысячную градуса Цельсия. Могут быть записаны электрические явления в нервной системе, происходящие в течение микросекунды. Фиксируются биопотенциалы мозга, величина которых составляет одну стотысячную вольт.

3. Возможностью объективной регистрации и документации, получаемой при исследовании информации, ее длительного хранения и воспроизведения через любое время после исследования. Если основной объем медицинских сведений в прошлом выражался словесно в виде описания внешнего вида больного и симптомов его болезни, то теперь это ряд цифровых данных, записей амплитудных, временных, частотных характеристик биологических процессов, фото- и телеизображений, звуковых явлений и т. п. Для хранения информации используются магнитные ленты, перфокарты, кинолента. Емкость этих «хранилищ» очень велика. Так, закодированная история болезни одного больного со всеми лабораторными и инструментальными исследованиями и описанием течения болезни может быть размещена всего на нескольких перфокартах.

4. Безопасностью исследований, возможностью длительного автоматического контроля за больным и передачи полученных данных на расстояние. Современная техника позволяет применить в клинике ряд методов, которые в прошлом использовались только в «острых» опытах на животных. Такова, например, методика зондирования сердца и магистральных сосудов. Для длительного наблюдения во время операции используют кардиомониторы — специальные аппараты, на экране которых можно длительное время наблюдать электрокардиограмму или пульсовые кривые больного.

Разработаны приборы для автоматической сигнализации о состояниях, угрожающих жизни больного. Эффективно развиваются методы передачи медицинской информации по телефону и радио. В том числе используются миниатюрные передатчики для регистрации физиологических функций у движущихся пациентов и даже сверхминиатюрные «радиопилули» для сигнализации о температуре в желудочно-кишечном тракте и других показателях пищеварения.

Для того чтобы дать читателю более конкретное представление о роли и возможности техники в современной медицине, мы рассмотрим отдельные, с нашей точки зрения наиболее интересные достижения медицинской электроники. Ограничимся лишь несколькими примерами.

Прежде всего о датчиках. Датчики — это устройства для преобразования неэлектрических (в нашем случае биологических) процессов различной природы в электрические.

Врач получает информацию о больном при помощи зрения, осязания, слуха. Однако органы чувств не воспринимают многих явлений, присущих живому организму (например, биопотенциалов или изменений состава биологических жидкостей),

Кроме того, наше восприятие индивидуально, оно зависит от опыта и тренированности врача. Так, выслушивание больного с пороком сердца является своего рода искусством, которому медики обучаются очень кропотливо и долго. Чтобы различить слабый нарастающий сердечный шум, необходимо не только иметь хороший слух, но и натренированность к такого рода диагностическим процедурам. Надо сказать, что наше ухо улавливает звуковые колебания, частота которых выше 20 герц, а максимальной чувствительностью слух обладает на частотах от 1000 до 4000 герц. Специальные микрофоны и усилительные устройства позволяют регистрировать звуки сердца от 10—20 герц и выделять при помощи фильтров отдельные диапазо-

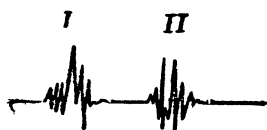


Рис. 1. Тоны сердца могут быть восприняты не только на слух, но и зрительно. Вот как выглядят 1-й и 2-й тоны на фонокардиограмме.

ны частот. В современной *фонокардиографии* (методика регистрации звуков сердца) приняты следующие стандартные диапазоны частот: низкочастотный (Н) с номинальной частотой 35 герц, 1-й среднечастотный (C_1) — 70 герц, 2-й среднечастотный (C_2) — 140 герц, 1-й высокочастотный (B_1) — 250 герц, 2-й высокочастотный (B_2) — 400 герц. Кроме того, разработаны системы, воспроизводящие чувствительность уха человека — так называемые стетоскопические, или аускультативные системы.

Звуки сердца имеют следующие частотные характеристики:
первый тон 30—120 герц,
второй тон 70—150 герц,
третий тон 10—20 герц,
систолические шумы 50—600 герц,
диастолические шумы 120—700 герц.

Так как ухо человека значительно лучше воспринимает колебания высокой частоты, чем низкой, то интенсивность шумов и тонов сердца при выслушивании определяется очень искаженно и очень индивидуально. Некоторые врачи даже при очень хорошей тренировке плохо воспринимают третий тон (который усиливается при некоторых заболеваниях). Фонокардиография дает возможность раздельно записывать низко- и высокочастотные колебания, позволяет количественно оценить интенсивность шумов и тонов. Синхронная запись звуков сердца, электрокардиограммы и кривой пульса обеспечивает фазовый анализ сердечного цикла, т. е. точное определение времени протекания отдельных этапов сердечного сокращения. Таким образом, в соревновании между ухом врача и современной электронной аппаратурой следует отдать предпочтение техническим устройствам.

Сегодня еще выслушивание больного, как одна из самых традиционных врачебных диагностических процедур, осуществляется с помощью простейших технических приспособлений — стетоскопа и фонендоскопа, но на смену им идут электронно-акустические устройства, а затем, с развитием вычислительной техники, и автоматические анализаторы звуков сердца.

Совершенствование методов и средств получения информации о состоянии живого организма и его разнообразных систем привело к появлению десятков и сотен методик и приборов. Мы проиллюстрируем техническую вооруженность современной медицины на примере диагностики сердечно-сосудистых заболеваний. Рассмотрим только самые основные, преимущественно радиоэлектронные методические приемы.

Рис. 2. Сфигмограмма отражает пульсовые движения артериальной стенки. В момент выбрасывания крови желудочками кривая круто поднимается вверх (анакротическая волна *a*). Во время диастолы регистрируется медленное снижение кривой до исходного уровня (катакротическая волна *c*). В конце систолы в результате отбрасывания крови от сомкнувшихся аортальных клапанов возникает дикротический зубец *d*. Изменения амплитуды и формы кривой указывают на нарушения тонуса артериальной стенки, скорости движения крови, характера сердечной деятельности.



Система кровообращения обеспечивает снабжение органов и тканей кислородом и питательными веществами, а также выводит продукты обмена.

Сердце можно рассматривать как генератор энергии, сообщаемой крови при ее поступлении в сосуды. Выбрасывание крови желудочками строго синхронизировано с притоком крови по венам.

Количество крови, скорость ее движения, время кругооборота — все эти факторы имеют важное жизненное значение.

Самый древний метод изучения сердечной деятельности — это, как известно, прощупывание и подсчет пульса. С середины прошлого века были введены в практику физиологических исследований кардиография (запись пульсации грудной стенки в области верхушечного толчка) и сфигмография (запись пульсовых движений артериальной стенки). В настоящее время взамен использовавшихся при записи механической или воздушной передачи колебаний применяют датчики, преобразующие эти колебания в электрический ток. С помощью электронных усилителей и чернильных самописцев регистрируется *сфигмограмма* сонной, лучевой, бедренной и других артерий. По сфигмограмме можно не только судить о ритме сердца, но и о наполнении сосудов, а косвенно и о скорости кровотока.

Сердце является «насосом», перекачивающим кровь из венозной системы, через капиллярную сеть легких, в артериаль-

ные сосуды. Мощность этого насоса определяется количеством крови и сопротивлением сосудистой сети. Понятно, что сила сердечных сокращений должна быть достаточной для поддержания в сосудах необходимого давления и придания крови соответствующей скорости. Важно также знать, насколько регулярны и координированны сокращения, достаточен ли объем выбрасываемой крови. На все эти вопросы дает ответ баллистокardiография — метод регистрации микроскопических движений тела, обусловленных реактивным эффектом сердечной деятельности. Суть его заключается в том, что при выбрасывании крови сердцем возникает отдача (так же как при выстреле из ружья или при работе ракетного двигателя). Вместе с толчками крови о стенки аорты и легочной артерии отдача передается всему телу и вызывает его перемещения.

Вам, наверно, приходилось не один раз наблюдать, как в такт с сердечными сокращениями поскрипывает кровать? Особенно если вы легли сразу же после значительной физической нагрузки, бега, а кровать стара и расшатана?

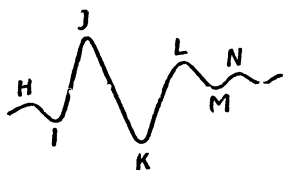


Рис. 3. Баллистокardiограмма отражает сократительную способность сердца. Амплитуда отрезка кривой *IJ* в определенной степени характеризует силу сокращения, скорость изгнания крови и ее объем. Волна *K* возникает в результате удара крови о дугу аорты. Волны *LMN* появляются во время диастолы.

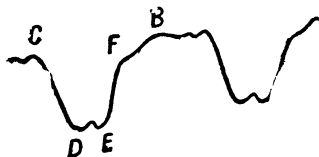
Еще в начале нашего века были сделаны первые записи баллистокardiограммы с помощью довольно громоздких приборов, напоминавших подвешенную на тросах кровать. Ученым казалось, что колебания такой системы со спокойно лежащим на платформе человеком обусловлены только количеством крови, выбрасываемой при каждом сердечном сокращении. Однако дальнейшие исследования показали, что для получения кривых, по которым можно рассчитать так называемый «ударный объем», т. е. количество крови, выбрасываемой сердцем при одном сокращении, конструкция аппарата — баллистокardiографа должна обладать определенными свойствами (например, низкой собственной частотой колебаний и др.). Начались работы по улучшению прибора. В течение последних двух десятилетий получили распространение простые баллистокardiографические датчики, с помощью которых можно оценить силу и координированность сокращений сердечной мышцы, что очень важно знать врачу для оценки эффективности проводимого лечения. В нашей стране был разработан метод массовой баллистокardiографии для профилактического выявления лиц со скрытыми нарушениями сократительной способности сердца. Так, исследование 800 рабочих и служащих одного завода показало, что нарушения баллистокardiограммы встречаются в

10—12% случаев (при этом в 6—7% случаев после углубленного обследования были выявлены различные заболевания сердечно-сосудистой системы: атеросклероз, гипертоническая болезнь и др.). Эти результаты дают основание говорить о баллистокардиографии как о перспективном методе профилактического обследования больших групп населения¹.

Подобно применяемой повсеместно флюорографии, баллистокардиография позволяет выявлять и своевременно начинать лечение скрытых нарушений сердечно-сосудистой системы. Особенно ценным становится такой метод при одновременном использовании вычислительных машин для быстрой обработки полученных данных.

Более сложными способами изучения сократительной функции сердца являются *динамография и электрокимография*. Первый из этих методов разработан еще в 1952 г. группой советских ученых во главе с профессором Е. Б. Бабским. Динамокардиограф можно, пожалуй, назвать «весами для взвешивания сердца». Этот аппарат представляет собой специальную кушет-

Рис. 4. Электрокимограмма позволяет судить об активных движениях отдельных участков сердечной мышцы. На рисунке показана электрокимограмма левого желудочка. Здесь *BC* — диастола, *CD* — движение мышцы в начале систолы. По изменениям амплитуды и формы кривой можно диагностировать нарушения внутрисердечного кровообращения, обусловленные заболеванием сердечной мышцы или клапанов.



ку, на которую ложится исследуемый. Под спиной исследуемого в кушетку вмонтирована платформа, опирающаяся на четыре стальные балки или кольца. Деформация последних, отражающая давление, действующее в данный момент на каждое из этих звеньев, регистрируется с помощью так называемых тензометрических датчиков. В результате притока и оттока крови центр тяжести грудной клетки пациента, опирающегося на платформу динамокардиографа, перемещается. Так как каждая фаза сердечного цикла сопровождается перераспределением крови внутри сердца и изменением положения центра тяжести грудной клетки, то динамокардиограмма позволяет судить как о продолжительности фаз, так и о количественной стороне кровообращения.

Электрокимография напоминает театр теней. Здесь источником «света» является рентгеновская трубка, а экраном — фотоэлемент. При проекции на фотоэлемент «тени» сердца, меняющейся вследствие его пульсации, «освещенность» фотоэлемента и ток, проходящий через него, изменяются. Применение фотоэлементных устройств позволяет резко снизить интен-

¹ Баевский Р. М. Основы практической баллистокардиографии. Медгиз, 1962.

сивность рентгеновских лучей, действующих на больного во время этого исследования. Усиленные колебания «фототока» регистрируются на бумажной ленте и по полученной электрокинограмме можно судить об амплитуде пульсаций различных сердечных отделов. Это важно знать при многих заболеваниях. Например, расширенное при митральном стенозе левое предсердие плохо сокращается, оно ослаблено, и электрокинограмма «дает оценку» сократительной способности именно этого отдела сердца.

Для измерения давления внутрисердечных полостей разработан метод зондирования. Он бывает необходимым для точного диагноза врожденных пороков сердца и широко применяется в клиниках, где оперируют на сердце. В чем заключается эта диагностическая процедура? Зонд, изготовленный из полихлорвинила, с датчиком на конце, вводится через подключичную вену, затем продвигается до верхней полой вены, дальше в правое предсердие, в правый желудочек и легочную

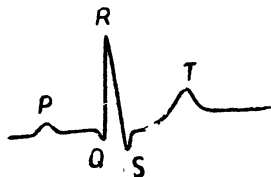


Рис. 5. Электрокардиограмма состоит из пяти зубцов *P*, *Q*, *R*, *S*, *T*, каждый из которых отражает определенный период сердечного цикла. *P* — возбуждение предсердий, *QRS* — охват волной возбуждения миокарда желудочков, *T* — прекращение возбуждения желудочков.

артерию. Все данные, сообщаемые зондом, тщательно фиксируются. Зондирование сердца и сосудов производится под контролем рентгена.

Все вышеописанные методы используются для оценки механической функции сердца, т. е. его работы как насоса. Для исследования электрических процессов в миокарде используется метод *электрокардиографии*.

Если представить себе сердце как двигатель внутреннего сгорания, где рабочему ходу поршней соответствует механическое сокращение, то система зажигания будет аналогична проводниковой системе миокарда, по которой возбуждение, рождающееся в синусовом узле на границе правого и левого предсердий, распространяется на весь миокард.

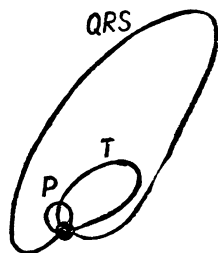
Электрокардиография — самый популярный инструментальный метод исследования сердца. Сегодня электрокардиографом оснащены каждая поликлиника, каждая больница. Но электрокардиограмма не может показать всех изменений сердечной мышцы (миокарда), а только те отклонения, что обусловлены неправильным возникновением движения волны возбуждения или нарушением ее движения по миокарду и его проводниковой системе. Именно эти изменения находят свое отражение на электрокардиографической кривой. По электрокардиограмме можно поставить диагноз инфаркта миокарда и установить его точную локализацию. Дело в том, что постоян-

ная для сердца волна возбуждения огибает пораженный участок миокарда, и вследствие этого электрокардиограмма определенным образом изменяется.

Для регистрации пространственного биоэлектрического процесса, совершающегося при работе сердца, разработан особый метод *векторэлектрокардиографии*. Здесь используется электроннолучевая трубка. На взаимно перпендикулярные пластины этой трубки подаются усиленные биопотенциалы двух различных отведений (например, от правой и левой руки, от левой руки и левой ноги). Образуется движущаяся, как на экране телевизора, петлеобразная кривая — сумма пространственных векторов электродвижущей силы сердца. Векторэлектрокардиография нередко позволяет выявить патологический процесс в тех случаях, когда это недоступно обычной кардиографии.

Одной из основных характеристик состояния сердечно-сосудистой системы является артериальное давление. Для его

Рис. 6. Векторкардиограмма показывает, как в течение сердечного цикла изменяется величина и направление электродвижущих сил сердца. Можно видеть три петли *P*, *QRS* и *T*. При нарушении проводимости и возбудимости миокарда эти петли изменяют свою форму, ориентацию или взаиморасположение, появляются деформации петель.



измерения врачи обычно пользуются ртутными и стрелочными манометрами, одновременно выслушивая фонендоскопом шумы, возникающие в артерии при ее сдавливании резиновой манжетой, наложенной на руку больного.

Но «выслушивать давление» вовсе не обязательно. Существует и графическая регистрация пульсовых колебаний артериальной стенки. Она получила название *артериальной осциллографии*. По артериальной осциллограмме можно определить *минимальное* (в промежутках времени между двумя очередными сокращениями желудочков), *максимальное* (при очередном выбрасывании желудочком крови в аорту) и *пульсовое давление*, а по амплитуде имеющихся на кривой зубцов судить о сосудистом тоне (состоянии сосудистой стенки). Разработаны и приборы для автоматического определения давления по осциллограмме.

При регистрации скорости колебаний сосудистой стенки получают *тахосциллограмму*. (Методика тахосциллографии и специальный аппарат — механокардиограф предложены советским ученым профессором Н. Н. Савицким).

Непосредственное изучение артерий теперь стало возмож-

ным и производится путем рентгенографии после введения в их просвет контрастных для рентгеновских лучей и безвредных веществ. Этот способ — *артериография* — наиболее эффективен, если очень быстро сделать серию рентгеновских снимков сразу же после введения контрастного вещества. Таким путем по различиям последовательных снимков удастся оценить скорость перемещения крови в сосудистой системе.

Чтобы изучить венозную сеть, применяют *венографию*, которая аналогична артериографии, но контрастное вещество вводят непосредственно в вену.

Известно, что кровь в венах движется гораздо медленнее, чем в артериях. Это обусловлено и относительно большим диаметром вен и более низким давлением в них. Измерение венозного давления представляет большой диагностический интерес. В клинической практике до последнего времени применяли

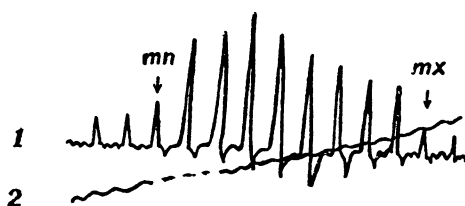


Рис. 7. Тахоосциллография позволяет разносторонне оценить параметры артериального давления. На основе сопоставления амплитуды и формы осцилляций (кривая 1) и изменения давления в манжете (кривая 2) можно точно определить максимальное (*mx*) и минимальное (*mn*) давление и другие показатели.

«кровавый» метод измерения венозного давления (в вену вводили иглу, по которой кровь поступает в измеряющий прибор — манометр). Для бескровного измерения давления в венах Н. И. Аринчиным разработана методика *ангиотензиотонографии*. Принцип ее заключается в том, что регистрируется кривая изменения объема тканей руки или ноги (так называемая *плетизмограмма*) в процессе постепенного сдавливания и снятия давления выше места регистрации плетизмограммы. Когда давление в наложенной на руку или ногу манжете станет равно венозному, отток крови по венам из исследуемых участков ткани нарушается (при сохранении нормальной величины притока крови по артериям). В результате этого начинается резкий рост объема конечности — плетизмографическая кривая круто поднимается вверх. Точки кривых давления и регистрируемой синхронно плетизмограммы сравниваются, и это дает возможность определить давление в венах.

Методика ангиотензиотонографии позволяет также измерять артериальное давление и состояние тонуса сосудистых — артериальной и венозной — стенок. (Пока этот метод применяется только в лаборатории и в некоторых клиниках).

Общеизвестно, что процессы обмена веществ и газов между кровью и тканями происходят в капиллярах (мельчайших кровеносных сосудах). На «капиллярном уровне» артериальная часть сосудистой системы переходит в венозную. Для того

чтобы исследовать здесь особенности кровообращения, совершают осмотр этих микрососудов через микроскоп при относительно небольшом увеличении (до 100 раз). Капилляроскопия производится на ногтевых переходных складках кожи пальцев рук и ног, где кожа наиболее тонка. При фотокапиллярографии наблюдаемая картина фиксируется на фотопленке. Более того — капилляры могут также изучаться с помощью телевидения. Этот метод дает ценные сведения о состоянии сосудов при различных заболеваниях. Для характеристики эффективности кровообращения в целом исследуют объем циркулирующей крови и минутный объем, т. е. количество крови, выбрасываемое одним желудочком в аорту или легочную артерию.

Наиболее современным методом измерения объема циркулирующей крови является радиоактивный. При этом в кровь вводится определенное количество радиоактивного вещества (например, изотоп фосфора), и по степени его разбавления судят о массе циркулирующей крови.

Рис. 8. Реограмма — это кривая изменений сопротивления тканей токам высокой частоты. Приток крови вызывает уменьшение сопротивления, отток — увеличение. Западение в середине пульсовой волны обусловлено обратным током крови в момент захлопывания аортальных клапанов сердца.



Минутный объем можно определить по данным баллистокардиографии или динамокардиографии. Чаще всего применяют газоаналитические методы, при которых учитывают количество поглощенного кислорода и скорость кровотока. Хорошие результаты были получены при определении минутного объема методом реографии. *Реограмма* — это кривая изменения сопротивления тканей на высоких частотах — 10—100 килогерц. Так как кровь обладает меньшим сопротивлением, чем ткани тела, то при каждой систоле сопротивление падает. Простое калибровочное устройство дает возможность установить количество крови, соответствующее определенному сдвигу кривой.

Важным показателем кровообращения является степень насыщения крови кислородом, что зависит от газообмена между легкими и кровью, между кровью и тканями. Уменьшение в крови кислорода, которое наблюдается при заболеваниях дыхательной системы и при сердечно-сосудистой недостаточности, можно уловить с помощью специального радиоэлектронного прибора *оксигеметра*. В разработке этого прибора большую роль сыграл советский ученый академик Е. М. Крепс. Принцип действия оксигеметра заключается в определении спектральных свойств гемоглобина в зависимости от количества кислорода. Воспринимающая часть оксигеметра представляет собой фотоэлемент, снабженный красным и зеленым светофильтрами; датчик надевается на ухо исследуемого. Ткани

уха прогреваются лампочкой, которая сквозь них освещает закрытый светофильтрами фотоэлемент. В зависимости от содержания в крови кислорода изменяется интенсивность освещения фотоэлемента. Стрелочный прибор позволяет вести отсчет непосредственно в процентах насыщения крови кислородом...

Наш беглый обзор основных методов исследования сердца и сосудов показывает, что техническая вооруженность современного врача весьма велика и обеспечивает выявление самых интимных механизмов жизнедеятельности организма человека. Диапазон методических возможностей продолжает расширяться. Все новые датчики и приборы начинают использоваться в медицине.

Большой интерес в последнее время проявляют медики к бесконтактным методам регистрации. Так, для кардиологических исследований недавно разработаны методы бесконтактного индукционного измерения кровенаполнения внутренних органов (А. Н. Помельцев), бесконтактной регистрации височного пульса (В. Н. Смирнов) и бесконтактной диэлектрографической регистрации пульсовых колебаний в различных участках тела (И. И. Фунтова). К числу бесконтактных методов относится и *магнитокардиография* — регистрация магнитного поля сердечной мышцы (М. Н. Тумановский и др.).

Магнитокардиограмма по форме напоминает электрокардиограмму (так как магнитное поле является производным от электрического). Вследствие малой напряженности магнитного поля сердца для его измерения используют весьма сложную и дорогостоящую аппаратуру, почему этот метод пока не приобрел практического значения. Для бесконтактного исследования кровообращения применяют также инфракрасную технику, регистрируя колебания теплоизлучения различных участков тела.

В заключение этого раздела мы рассмотрим возможность применения в медицине ряда технических средств, которые вначале были использованы в инженерной практике. Мы имеем в виду технику ультразвука и «меченые» атомы.

Весьма интересной и перспективной является ультразвуковая диагностика. Еще в 1952 г. Вильд и Райд опубликовали работу с описанием разработанного ими способа обнаружения и определения опухолей с помощью ультразвука. Этот метод был назван *эхографией*; он основан на измерении отражения ультразвуковых волн от границы соприкосновения двух сред с различными акустическими свойствами. Эхограф работает в некоторой степени как радиолокаторная система. Его передатчик генерирует электрические сигналы с частотой в несколько миллионов колебаний в секунду. С помощью пьезокристалла электрические импульсы превращаются в звуковые, тот же кристалл воспринимает отраженные звуковые волны. Прием осуществляется в интервалах между рабочими импульсами передатчика.

Ультразвуковой метод был использован в кардиологии для изучения движений стенок сердца. Полученные этим способом кардиограммы позволяют выявлять изменения объема крови в сердце и изменения кровотока.

Используется ультразвук и для диагностики глазных заболеваний. При этом получают изображение внутренней структуры глаза, что особенно важно в тех случаях, когда обычный офтальмологический осмотр затруднен светонепроницаемостью глазных сред (помутнение роговицы, катаракта, кровоизлияние в стекловидное тело).

Разработана методика *эхозцефалографии*, с помощью которой через черепные покровы удается «видеть» различные структуры мозга. В частности, при черепно-мозговых травмах применение ультразвука позволяет выявить кровоизлияния в мозговой ткани и в оболочках мозга, скрытые трещины костей черепа, начало отека или набухания мозга.

Ультразвук помогает врачам самых разных специальностей: оториноларингологу — в диагностике заболеваний гайморовых пазух, урологу — в обнаружении камней в почках и мочевом пузыре, гинекологу — в выявлении опухолей матки, акушеру — для контроля положения плода перед родами и т. д. Для ультразвуковой диагностики в СССР разработаны и серийно выпускаются аппараты УЗД-4 и УДА-734.

Точное фокусирование ультразвуковых лучей с помощью параболического зеркала дало возможность применять ультразвук не только в диагностике, но и в лечении. Собранный в точку такой луч играет роль ножа, способного избирательно разрушать ничтожные очаги, расположенные в глубине тканей, остающихся при этом совершенно неповрежденными.

Метод меченых атомов нашел широкое применение в различных областях медицины. Вводя в состав отдельных веществ радиоактивные изотопы, можно затем проследить их судьбу в организме, установить степень участия органов и тканей в процессах обмена. В результате применения этого метода удалось выяснить быстроту обновления различных веществ в тканях. Оказалось, что все химические соединения, входящие в состав организма, в процессе обмена веществ непрерывно обновляются. С помощью меченых радиоактивными изотопами эритроцитов определяют среднее время их жизни (теперь известно, что при заболеваниях почек эритроциты разрушаются быстрее, чем в норме).

Важную роль в диагностике состояний щитовидной железы играет исследование бета- и гамма-излучения вводимого в организм изотопа йода. Так как щитовидная железа избирательно накапливает больше йода, чем другие ткани, то по интенсивности его поглощения можно судить о функции железистой ткани. Измерения проводятся специальным счетчиком, помещенным над областью гортани на расстоянии 10—30 см от кожи.

Радиоактивный фосфор стали применять для диагностики некоторых злокачественных опухолей. Эта методика основана на том, что в клетках раковой опухоли усилен фосфорный обмен и поэтому радиоактивный фосфор поглощается ими быстрее, чем нормальными. С помощью фосфорного изотопа обнаруживают злокачественные опухоли мозга, кожи, костной ткани, грудной железы. Очень важно, что таким путем бывает возможно отличить злокачественные опухоли от доброкачественных.

Трудно даже перечислить огромное количество новых методов и приборов, которыми ежегодно пополняется арсенал медицинской науки. Не все они, конечно, выдерживают испытание временем и остаются на вооружении врача. Но на смену устаревшим приходят десятки новых, более совершенных. Сейчас промышленностью освоены и серийно выпускаются многоканальные регистраторы биопотенциалов, приборы для магнитной записи биологических процессов, аппаратура для микроэлектродных внутриклеточных исследований, электронные микроскопы, люминесцентные микроскопы, разнообразные электронные приборы для биохимических анализов и т. п. В нашей стране имеются все возможности для использования новейших достижений медицинской электроники в широкой медицинской практике. Понятно, что дальнейшие успехи в этом направлении возможны лишь на базе тесного сотрудничества биологов и инженеров, физиологов и кибернетиков, врачей и математиков, иными словами — при содружестве медицины и техники!

Биотелеметрия. Что это такое?



Современная техника дает в руки врачей самые разнообразные средства для сбора информации о состоянии живого организма.

О многочисленных приборах и датчиках рассказывалось в предыдущей главе. Часто возникает необходимость в том, чтобы полученную с помощью датчиков информацию передать на расстояние. Такая ситуация имеет место при исследовании физиологических функций спортсмена во время тренировок и соревнований, при изучении рабочих на производстве, при клиническом исследовании больных и т. д. *Метод передачи биологической информации на расстояние получил название биотелеметрии* (теле — далеко, метрия — измерение). Наибольшую известность обрела биотелеметрия в связи с космическими полетами животных и человека.

Первая передача данных о состоянии животного организма (собак) с советского космического корабля на Землю поистине является фантастическим достижением современной техники, в первую очередь нашей, отечественной. И все последующие подобные передачи были не менее сенсационны.

Биотелеметрия — это сравнительно новый метод медико-биологического исследования, начавший особенно интенсивно развиваться в эпоху освоения космоса. Однако формальный возраст биотелеметрии довольно солиден. Почти 60 лет назад основоположник электрокардиографии Эйнтховен впервые осуществил передачу электрокардиограммы на расстояние до 1,5 км из клиники в лабораторию. Передача шла по проводам (проводная телеметрия). В 1910 г. Браун сконструировал телефонный стетоскоп и передал тоны сердца по телефонному кабелю, имевшему длину около 150 км.

Первая передача медицинской информации по радио состоялась в 1921 г.: ретранслировались тоны сердца больного, находившегося на пловущем корабле, с помощью корабельной радиостанции и дополнительного усилительного устройства. Первый прототип современных биотелеметрических приборов, устанавливаемых непосредственно на человеке или животном, был создан в 1932 г. нашими соотечественниками А. А. Ющенко и Л. А. Чернавкиным. Они регистрировали сигналы от контактного датчика, приспособленного к измерению количества слюны, которая выделялась у свободно перемещавшейся собаки.

Контактный датчик был использован для учета рабочих движений человека при исследовании трудовой деятельности.

Широкое применение биотелеметрии началось только в 50-х годах, когда развитие электроники и появление полупроводников позволило создавать достаточно миниатюрные и экономичные приборы. Одним из первых и старейших в нашей стране центров по разработке биотелеметрической аппаратуры и ее применению в спортивной медицине и физиологии труда является Свердловск. Здесь ведутся работы с 1955 г. 29 апреля 1957 г. в Свердловске была впервые зарегистрирована по радио частота пульса у конькобежца во время тренировки. В настоящее время исследования сердечной деятельности, дыхания, температуры тела и других физиологических функций во время спортивных занятий и соревнований и в процессе выполнения трудовых операций проводятся довольно широко.

Давайте кратко рассмотрим принципы биотелеметрического исследования.

Прежде всего различают проводные и радиосистемы. Мы расскажем о системах радиотелеметрии. Здесь главными элементами являются радиопередатчик и радиоприемник. На пациенте размещают датчики для преобразования биологических сигналов в электрические и, для некоторых специальных случаев, миниатюрные предварительные усилители. Например, для регистрации дыхания на человека одевают специальный нагрудный пояс с вмонтированной в него резиновой трубкой, туго набитой угольным порошком. При дыхании трубка периодически растягивается и сжатие угольного порошка изменяется. Эти изменения усиливаются и преобразуются в колебания частоты сигналов, излучаемых радиопередатчиком.

Для регистрации тонов сердца используют миниатюрные микрофоны, а для записи электрокардиограммы — электроды, установленные в нагрудном поясе или приклеенные к коже. Радиосигналы, принятые приемным устройством, вновь преобразуются в электрический ток и подаются на самописец, который и вырисовывает соответствующую кривую. Разумеется, дальность передачи медицинской информации по радио зависит от мощности передатчика и чувствительности приемника.

Радиотелеметрические системы, в которых передатчик находится на объекте исследования, получили название динамических, они являются самыми распространенными. На втором месте идут так называемые бортовые системы (когда передатчик находится на небольшом расстоянии от исследуемого и связан с ним проводами). Такая система может передать медицинскую информацию о состоянии летчика через самолетную радиостанцию или данные о мышечных потенциалах гребца через радиопередатчик, расположенный на лодке.

Современные радиотелеметрические системы космических кораблей также относятся к числу бортовых. Однако передающее устройство не обязательно размещать возле исследуемого

или на нем, оно может находиться и внутри исследуемого (например, эндорадиозонды, применяемые для изучения желудочно-кишечного тракта).

Биотелеметрические системы можно классифицировать по дальности действия. Самые маломощные из них предназначены для исследования животных, посаженных в клетку, или человека, находящегося в небольшой кабине, или в больничной палате (дальности 0,5—5 м). Более мощные передатчики нужны для производственной и спортивной телеметрии в пределах гимнастического зала или цеха, а также в пределах больничной территории (дальности до 50—100 м).

Радиолинии средней дальности (от 100 м до 10 км) используются в спорте (на стадионах, авто- и мототреках), в экологических исследованиях (наблюдение за поведением и физиологическими функциями животных в условиях свободной жизни в заповедниках и питомниках).

Дальняя биотелеметрия — это передача данных с борта космического корабля, совершающего орбитальный полет вокруг Земли, или с самолета, удаленного от приемного пункта на сотни километров, или из одной точки земного шара в другую. Недавно с советской плавучей рыболовецкой базы в Атлантике были переданы по радио в Москву электрокардиограммы нескольких членов экипажа. Произведенный эксперимент оказался весьма удачным.

Наиболее полно используется биотелеметрия сейчас в космической медицине, где она является одним из основных приемов исследований в летных экспериментах. На втором месте идет спортивная медицина. Для спортивных врачей очень важно устанавливать функциональное состояние деятельного организма. Недостаточно знать, например, частоту пульса только до и после соревнования или тренировки. Нужно иметь информацию о пульсе (и других функциях) непосредственно в момент нагрузки. Здесь методика биотелеметрических исследований, конечно, незаменима.

Третьей «хозяйкой» биотелеметрии стала, по-видимому, экология — наука, изучающая взаимосвязь животного мира с природными факторами, окружающей средой.

С помощью телеметрической методики можно проследить за перемещениями животных при естественных миграциях или отыскании дороги (например, за полетом голубя из неизвестного ему пункта к дому), за ориентацией животных, их поведением в сообществах и т. д. Остроумное исследование осуществил Эклунд в Антарктиде. Его заинтересовало: какая температура создается в гнезде пингвинов? Ведь самка высиживает яйца на морозе! Для этого в гнездо, в отсутствие взрослых пингвинов, был подложен взамен подлинного яйца макет, внутри которого находился миниатюрный передатчик и датчик для измерения температуры. Оказалось, что температура поддерживалась на постоянном уровне, несмотря на сверх-

суровые условия антарктического климата. (Было бы, между прочим, очень интересно поставить такой опыт на клестах — единственных птицах нашей полосы, высиживающих яйца в трескучие зимние морозы.) Б. В. Панин из Всесоюзного института каракулеводства (Самарканд) изучал физиологические функции у овец в естественных условиях во время пребывания их на степных пастбищах. При этом оказалось, что имеется тесная связь между двигательным режимом овец и их продуктивностью.

Все шире развертываются биотелеметрические изыскания в физиологии труда и в клинической медицинской практике. Важные данные получены свердловскими исследователями (С. М. Ганюшкиной, Ю. Г. Солониным, Б. А. Кацнельсоном и др.) при изучении пульса и дыхания у рабочих горячих цехов металлургических заводов и у шахтеров. Радиотелеметрическая аппаратура позволила получить данные как для оценки тяжести работы, так и для суждения об условиях труда. Так, было установлено, что сдвиги частоты пульса во время работы в горячем цехе соответствуют температуре окружающей среды и потерям воды путем испарения. При длительном исследовании пульса и дыхания шахтеров была показана возможность объективной оценки степени утомления от разных видов работ. (Например, средняя частота пульса у бурильщиков 115 ударов в 1 мин, у крепильщиков — только 102 удара в 1 мин). Это позволяет сравнивать степень интенсивности труда в различных профессиональных группах.

Радиотелеметрия используется также для постоянного и длительного контроля атмосферных загрязнений. Так, в Московском институте гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана производится разработка системы для измерения загрязненности воздуха сернистым газом одновременно в 48 точках в радиусе до 10 км. Подобного рода устройства могут иметь важное значение при решении проблем техники безопасности на предприятиях с большой загазованностью.

В клинике биотелеметрия позволяет вести наблюдение за различными функциями организма, не беспокоя и не тревожа больного, — во время прогулки, еды, сна, чтения и т. д. Это дает значительно более объективную медицинскую информацию, чем исследование до и после специальных нагрузок или в покое. Кроме того, важнейшее значение имеет дистанционный контроль за тяжелыми больными. Такой контроль может осуществляться по радиоканалу или по проводам. Ценные данные дает дистанционное наблюдение за больными во время приема ими разнообразных терапевтических процедур (например, во время лечебной гимнастики, морских купаний и т. п.). Вначале с помощью биотелеметрии в клинике регистрировали по радио электрокардиограммы у больных гипертонической болезнью и стенокардией во время стандартных нагрузок (1961 г.). Затем начались электрокардиографические исследования с примене-

нием радиоканала у лиц, находящихся на диспансерном учете, в процессе реальной трудовой деятельности (их проводил советский исследователь Б. И. Язбурскис под руководством профессора Л. И. Фогельсона в 1963—1965 гг.). В этих исследованиях использовался радиоэлектрокардиограф ТЭК-1, серийно выпускаемый нашей промышленностью.

Большая работа по изучению возможностей клинической биотелеметрии была осуществлена в Ленинграде Ю. Н. Волковым. Непосредственно из палат регистрировались по радио разнообразные физиологические функции у больных: механическая работа и электрические потенциалы сердца, дыхание, мышечная деятельность и т. д. Таким образом, значительно снижалась «психическая нагрузка», эмоциональное воздействие самой диагностической процедуры. Записывались электрокардиограммы у больных и тогда, когда они прогуливались по холлам, коридорам и палатам клиники. Велась длительная регистрация электрокардиограмм у тяжелых больных, у больных в состоянии наркоза и при выходе из него во время сложных операций на грудной и брюшной полостях.

В последние годы в связи с созданием миниатюрных радиодеталей, полупроводниковых элементов и батарей начала развиваться новая отрасль клинической биотелеметрии — *эндорадиозондирование*. Были разработаны крошечные радиопередающие устройства, которые вместе с датчиком и источником питания имеют размеры порядка 2—3 см в длину и около 1 см в ширину. Такое устройство («радиопилюлю») дают проглотить пациенту. Пилюля-радиостанция не вызывает никаких неприятных ощущений и последствий, обеспечивая вместе с тем передачу сигналов из желудочно-кишечного тракта о температуре, кислотности и т. д. Можно также проследить, как радиопилюля перемещается из одного отдела кишечника в другой, и тем самым судить о перистальтических движениях. Таким образом, неприятную процедуру зондирования желудка во многих случаях удастся заменить биотелеметрическим исследованием с помощью радиопилюлю.

Метод эндорадиозондов в СССР разрабатывается под руководством академика АН УССР Е. Б. Бабского. Причем уже первые клинические испытания показали, что новый метод может найти широкое применение в клиниках. Упомянем об одной из последних новинок в этой области. Японским инженерам и медикам удалось создать радиопилюлю, сигнализирующую о скрытых внутренних кровотечениях: датчик реагирует на самые незначительные примеси крови в желудочном содержимом. Понятно, что такие устройства будут иметь очень большое значение при обследовании язвенных больных с подозрением на желудочное кровотечение.

Несомненно, что развитие биотелеметрии вместе с кибернетикой, радиоэлектроникой, вычислительной техникой становится важным фактором расцвета нашей медицины. Ведь ос-

новным направлением советского здравоохранения является предупреждение болезней, распознавание их в самых ранних стадиях.

Естественно, возникает вопрос: чего можно ожидать от биотелеметрии в ближайшие годы?

Очевидно, прежде всего техника микроминиатюризации позволит довести величину серийных многоканальных биотелеметрических устройств до размеров спичечной коробки или еще меньше. Соответственно уменьшатся габариты и повысится надежность приемных аппаратов. Это разрешит широко внедрить в медицинскую практику новую методику дистанционного контроля за состоянием человека и создаст условия для дальнейшего развития этого направления. В связи с проектами медицинских вычислительных центров биотелеметрия может рассматриваться как одно из средств передачи информации от больного к централизованной системе автоматического анализа данных.

Что за этим скрывается? Сегодня от момента записи электрокардиограммы у больного до момента ее «расшифровки», получения заключения проходит довольно много времени. Да и качество, точность заключения зависит от квалификации и опыта специалиста-электрокардиолога.

Внедрение систем автоматического анализа позволит соединить опыт лучших знатоков этого дела для составления программы машинного анализа, а биопотенциалы сердца передавать по проводам или по радио от больного в медицинский вычислительный центр. О том, что решение этой задачи вполне реально, говорят опыты передачи электрокардиограмм в центральный пункт из различных районов Свердловска от пациентов, находящихся дома в постели. Выглядит это так. Врач приходит к больному с миниатюрным передающим устройством, подсоединяет электроды как при обычной электрокардиографии и дает сигнал начала записи. В санитарной машине, доставившей врача, имеется приемно-передающий аппарат (регнатор). Он принимает сравнительно слабые сигналы передатчика, находящегося в квартире больного, усиливает их и, в свою очередь, ретранслирует в центр. В качестве такого передатчика используется стандартное радиопереговорное устройство, имеющееся на санитарных и пожарных машинах, на таксомоторах и т. д.

Несомненно, получит распространение и передача медицинской информации по телефону, а также запись данных о больном на магнитную пленку.

Мы уже говорили о том, что биотелеметрия является средством дистанционного наблюдения за больным. Как только в его состоянии обнаружатся изменения, они должны быть замечены дежурным персоналом и проанализированы.

Кибернетика подсказывает сейчас такую идею: анализ информации осуществлять непосредственно в месте регистрации,

а передачу данных производить только в том случае, если информация имеет определенную диагностическую ценность. Таким образом, речь идет о системах биотелесигнализации. Передающее устройство может быть специально отрегулировано и «настроено» так, чтобы сигнал передавался, например, только при учащении пульса у больного свыше 120 ударов в 1 мин, или повышении температуры выше 38°, при урежении дыхания ниже 10 в 1 мин (норма до 20 дыханий в 1 мин), или сочетании иных признаков (синдром). Сейчас есть все технические и медицинские предпосылки для создания подобных биотелесигнализаторов.

Несколько более отдаленный, но все же вполне реальный вариант биотелесигнализатора вырисовывается в связи с исследованиями по преобразованию энергии живого организма в электрическую. Ф. Лонг (1962) опубликовал данные об источниках биологической энергии на основе биопотенциалов, возникающих при мышечной активности, и преобразования в электрический ток энергии движения крови. Была доказана возможность получения таким путем электроэнергии, достаточной для питания небольшого биотелеметрического передатчика. Подобные исследования продолжаются и у нас, и за рубежом. Биотелеметрические сигнализаторы с биоэнергетическими источниками питания являются практически «вечными» — ведь они действуют до тех пор, пока жив человек! Поэтому уже теперь можно представить себе системы индивидуализированного биотелеконтроля (действующие вначале в пределах небольших районов, например, на определенных предприятиях или в цехе). В дальнейшем такие системы смогут обеспечивать более обширные районы — целые кварталы большого города! Данные о каждом человеке, оказавшись в вычислительном центре, с помощью вычислительных машин позволят выявить самые незначительные и минимальные отклонения в состоянии здоровья.

Не следует думать, что нарисованная картина является сугубо фантастической. Уже имеются конкретные научные и технические предпосылки для проектирования подобной системы. Конечно, речь идет о перспективе на ближайшие 2—3 десятилетия. Впрочем, темпы научно-технического прогресса все увеличиваются и многое может быть реализовано в гораздо более короткий срок.

Итак, мы видим, что в отношении проблем передачи медицинской информации и ее сбора сделано уже немало и имеется весьма солидный «задел».

Теперь рассмотрим несколько подробнее вопросы применения в медицине вычислительной техники.

Диагноз помогает ставить машина



Сейчас много пишут и говорят о применении электронных вычислительных машин в диагностике. Некоторые фантасты утверждают, что в будущем такие машины будут играть ведущую роль в медицине. Однако постановка диагноза — это очень сложный логический и психологический процесс, в котором, помимо опыта и знаний врача, участвует и его интуиция.

Попытки использования вычислительной техники для определения заболевания и состояния больного в настоящее время увенчались созданием ряда экспериментальных систем, помогающих врачу в его диагностической работе. Пока еще рано говорить о практической машинной диагностике, как о достижении сегодняшнего дня, скорее это контуры близкого будущего. Тем не менее, существующие в этой области успехи и трудности весьма ярко иллюстрируют состояние проблемы *медицина и техника* в целом.

Как уже указывалось выше, диагностический процесс есть не что иное, как обмен информацией между врачом и больным. В самом деле, жалобы больного, история развития заболевания, результаты объективных инструментальных и клинических исследований — это данные, которые врач должен оценить и обдумать. В результате такого обдумывания устанавливается диагноз. (Диагноз — это информация, направленная на больного. На его основе назначается лечение, а лечебные назначения — это информация, которая управляет деятельностью среднего медицинского персонала.)

При постановке диагноза можно различать три этапа: сбор, анализ и оценка информации. Вопросы сбора информации мы рассматривали в предыдущей главе. Мы показали, как интенсивно увеличивается число новых методов исследования, как на вооружение медиков поступают все новые и новые приборы и аппараты. Уже сейчас большое количество высококвалифицированных лаборантов и врачей занимаются в хорошо организованных больницах и клиниках исключительно анализом результатов разнообразных исследований в виде графиков, кривых, цифр и т. п. Поэтому автоматизация анализа медицинских данных составляет один из важных этапов развития машинной диагностики.

Анализ медицинской информации означает отбор из потока сведений наиболее существенных данных, указывающих на воз-

возможные патологические отклонения в состоянии различных органов и систем. При этом может осуществляться весьма обширный круг операций — от простой дешифровки осциллограмм до корреляционного и спектрального анализов. Условимся понимать под «анализом» такой этап диагностического процесса, который связан с подготовкой собранной информации к математической или логической оценке, обеспечивающей в итоге диагноз. Так, электрокардиограмма прежде всего подвергается анализу: вычисляются различные временные и амплитудные показатели, выделяются все особенности кривой, отличающие ее от известных нормальных типов. Получается ряд цифровых значений, которые затем оцениваются. Иногда отклонения на электрокардиограмме бывают выражены настолько явно (например, при типичном инфаркте миокарда), что не требуется длительного анализа. Диагноз ставится буквально с первого взгляда. В ряде случаев анализ бывает, однако, затруднен малой выразительностью отклонений. Здесь оказывается полезным математический метод, получивший значительное развитие особенно в последние годы. К числу таких методов относятся корреляционный, спектральный, вероятностный и другие виды анализов. Таким образом, можно выделить три метода анализа медицинских данных, в первую очередь различных кривых:

1. *Определение абсолютных значений отдельных показателей регистрируемого процесса.* В случае анализа осциллограмм — это определение амплитуды и продолжительности зубцов; в рентгенографии — вычисление размеров сердца; в лабораторной диагностике — измерение удельного веса мочи или скорости реакции оседания эритроцитов.

2. *Вычисление математических и статистических параметров изучаемого биологического явления.* Статистические методы уже давно применяются в медицине и здравоохранении для оценки достаточности наблюдений или степени различия результатов измерений. В последнее время математика все глубже внедряется в практику физиологических исследований. Например, методы теории случайных процессов нужны для анализа разнообразных показателей кровообращения, дыхания, нервной деятельности.

Кратко расскажем о приложении теории случайных процессов к анализу сердечных ритмов. Предполагается, что длительность каждого сердечного цикла является случайной величиной и каждый последующий отличается от предыдущего. Вся совокупность сердечных циклов за определенный интервал может быть описана как случайный процесс параметрами функции распределения, автокорреляционной функции и спектром. Не вдаваясь в подробности вычисления указанных параметров, мы лишь укажем, что функция распределения показывает, какова вариативность сердечного ритма и как группируются временные интервалы — равномерно или с преобладанием интервалов с определенной длительностью. По функциям распределения

хорошо видно, находится ли сердечный ритм в устанавливаемом режиме или происходит переходный процесс (например, приспособление к физической нагрузке). Автокорреляционная функция показывает, как связан каждый предыдущий период с последующим. В некоторых случаях длительность интервалов между сердечными сокращениями равномерно убывает или увеличивается (переходные процессы), и можно заранее предсказать, каким будет следующий интервал. Если имеется тесная связь между интервалами, то это указывает на активное участие центральной нервной системы в управлении ритмом сердца. Во время сна, когда мозг «спит», управление функциями организма, в том числе сердечной деятельностью, осуществляется в минимальном объеме, преобладает автономия самого сердца. В этих случаях имеются выраженные колебания интервалов между сердечными сокращениями — автокорреляционная функция указывает на слабую связь между интервалами. Еще менее тонкая связь наблюдается при аритмиях сердца. Например, спектр представляет собой математическое выражение частотного распределения исследуемых интервалов, что позволяет определить, имеется ли в данной последовательности временных интервалов повторяемость и каков ее период. Следует отметить, что в обычных условиях наблюдается дыхательная периодика сердечного ритма, так как на вдохе длительность сердечного цикла увеличивается, на выдохе — уменьшается. Чем отчетливее автономная регуляция, тем в спектре больше «мощности» колебаний, соответствующих частоте дыхания. По выраженности дыхательных колебаний можно судить о степени «вмешательства» центральных механизмов в автономную регуляцию сердца. Неспециалисту все приведенные выше материалы могут показаться «слишком теоретическими», однако подобный математический анализ позволяет лучше понять механизмы нервно-гуморальной регуляции сердца, что очень важно как в диагностике, так и в физиологии.

3. Бионический подход к анализу и оценке информации.

Бионика — это новое научное направление, в котором на основе биологических знаний пытаются решать инженерные задачи. Одним из методов бионики является моделирование деятельности мозга при помощи вычислительных машин. Как известно, некоторые опытные врачи распознают заболевания с первого взгляда. В частности, диагноз инфаркта миокарда нередко может быть установлен специалистом по одному виду кривой электрокардиограммы. Как он это делает? Схематично здесь принцип диагностики состоит в том, что врач сопоставляет предъявляемую ему информацию с хранящимся в его памяти опытом в виде подобных же электрокардиограмм, которые он наблюдал у других больных. В мозге происходит сравнение наблюдаемой в данный момент кривой с кривыми, которые сохранились в памяти на основании прошлого опыта. Выявляется наибольшее сходство и диагноз ставится на основ

совпадения кривых. Таковую же операцию можно поручить вычислительной машине, если снабдить ее набором кривых — эталонов, характеризующих различные заболевания.

Помимо указанных трех основных направлений автоматизации оценок медицинских данных, используются различные методы анализа, которые нельзя отнести, строго говоря, к одному из описанных направлений. Например, методы дифференцирования и интегрирования применяют для того, чтобы выявить в потоке информации некоторые скрытые данные, интересующие врача. При дифференцировании определяют скорость изменения процесса за единицу времени. Скоростной компонент биологических реакций представляет большой интерес, так как нередко начальные нарушения проявляются в изменении скорости протекания реакции, хотя средние и результирующие данные не отличаются от нормы. Можно привести пример из области баллистокардиографии. При записи смещений тела кривая не дает представления о силе сердечных сокращений. Но при двойном дифференцировании осуществляется запись ускорений, которые хорошо отражают силовые характеристики сердечной деятельности. Суммирование применяют в тех случаях, когда необходимо проанализировать комплекс однородных данных за определенный интервал времени. В электроэнцефалографии разнообразные анализаторы применяются для измерения средней мощности биоэлектрических потенциалов в заданном частотном диапазоне. Разработаны методы долговременного учета механических проявлений сердечной деятельности путем интегрирования сигналов. Подобным же способом производится определение средней и суммарной частоты пульса.

Заключительный этап анализа медицинской информации состоит в сравнении полученных данных с известными показателями — константами. Врач в процессе исследования больного сопоставляет каждый из показателей физиологического состояния с данными, которые, по его мнению, характеризуют норму. Однако «норма» это очень относительное понятие. Для человека в условиях покоя пульс в 100 ударов в минуту явно ненормален, но если такая же частота пульса определяется сразу после физической нагрузки, то это не вызывает опасения. Следовательно, в памяти врача должны всплыть константы норм, которые в наибольшей степени соответствуют условиям исследования. В результате такого сравнения выделяются признаки, характеризующие данное заболевание. Автоматизация как этап анализа возможна и желательна, так как «память» машины надежнее, чем память человека, а быстрое действие машины обеспечивает высокую эффективность сравнительной оценки, позволяя выбирать наиболее подходящие для данного случая константы норм и быстро вычислять степени различия и сходства.

На основе сравнительного анализа текущей информации

у нас создан прибор «Ритм-1». Этот прибор автоматически сравнивает продолжительность каждого сердечного цикла с условным «нормальным» циклом (который вычисляется как среднее значение за предшествующие 5—6 мин). При отклонении продолжительности текущего интервала от нормы более чем на 20% формируется сигнал «К» или «Д», в зависимости от того, короче или длиннее нормы данный интервал. В противном случае формируется сигнал «Н». Из этих трех сигналов-букв составляются трехбуквенные сочетания, формирующие «диагнозы» (например, ККД — экстрасистола с компенсаторной паузой, ДНН — блокада, ККК — тахикардия). Таким образом, прибор осуществляет все этапы анализа: вычисляет значение показателя, статистически обрабатывает вариационный ряд для получения средних цифр, сравнивает среднее и текущее значение и формирует код — вывод. Результатом диагностического процесса является диагноз, который строится на основе статистических, математических и логических процедур, осуществляемых каждым врачом как единый психоаналитический акт. При автоматизации диагностического процесса требуется смоделировать деятельность врача, однако здесь не может быть и речи о том, чтобы полностью скопировать врачебную логику. Модель строится обычно по принципу «черного ящика». Этот принцип, применяемый кибернетиками, требует лишь соответствия входов и выходов системы. Так, в случае диагностического процесса важно, чтобы заключение врача и «вывод» автомата совпадали, а пути достижения необходимого результата могут быть различными. Иными словами, содержание «черного ящика» должно быть таким, чтобы обеспечивалось соответствие входов и выходов. В данном случае мы будем рассматривать алгоритмы автоматизации диагностического процесса.

Алгоритм — это точное предписание последовательности действий, необходимых для достижения заданного результата. Диагностический алгоритм включает в себя совокупность правил, определяющих порядок переработки медицинской информации с целью постановки диагноза. Если задача диагностики поддается алгоритмизации, то она может быть решена с помощью вычислительной машины. Поэтому мы вначале рассмотрим различные способы построения диагностических алгоритмов, а затем приведем описание некоторых типов «диагностических машин».

Известно, что заболевания главным образом характеризуются наличием тех или иных признаков, симптомов. Некоторые из них могут считаться типичными. Так, например, для перитонита (воспаление брюшины) характерны разлитые боли по всему животу, резкое напряжение брюшной стенки, повышение температуры тела, бледность лица, учащение пульса и т. д. (Конечно, если бы заболевания протекали так типично, то достаточно было бы иметь «развернутые» таблицы симптомов и диагноз мог бы ставить даже не врач. Собственно говоря, на

выявление и распознавание таких вот «классических» случаев и рассчитан так называемый матричный, или табличный, алгоритм.)

Как работает вычислительное устройство, использующее подобный алгоритм? Посмотрите на таблицу. В ней приводится перечень из 20 симптомов (их может быть много больше) и 3 вида диагнозов заболеваний. Наличие какого-либо симптома при данном заболевании обозначается единицей, отсутствие — нулем. Стоит «ввести» в машину определенный набор симптомов, и она автоматически подсчитывает число «очков». Диагноз определяется по наибольшей сумме.

Т а б л и ц а

Матричный способ задания диагностического алгоритма¹

Симптомы	Диагнозы		
	шок (третья степень)	перитонит	острая не- достаточ- ность кро- вообраще- ния
1. Боли в области сердца	0	0	1
2. Боли в животе	0	1	0
3. Повышение температуры	0	1	0
4. Понижение температуры	1	0	0
5. Лейкоцитоз	0	1	0
6. Нарушение сердечного ритма . .	0	0	0
7. Повышение артериального давле- ния	0	0	0
8. Снижение артериального давле- ния	1	1	1
9. Шум трения перикарда	0	0	0
10. Изменения электрокардиограммы	0	0	0
11. Бледность кожи	1	1	1
12. Общая заторможенность	1	1	0
13. Учащение пульса	1	1	1
14. Учащение дыхания	1	0	1
15. Угнетение рефлексов	1	0	0
16. Напряжение брюшной стенки . .	0	1	0
17. Вздутие живота	0	1	0
18. Общая слабость, головокружение	0	0	1
19. Расширение сердца	0	0	1
20. Приглушение тонов сердца . .	0	0	1

Диагностические машины, программы которых основаны на матричной логике, бывают полезны в тех случаях, когда при наличии большого количества симптомов и большого числа

¹ Данная таблица лишь сугубо схематично отражает симптоматику диагностируемых заболеваний и только демонстрирует возможность построения диагностического алгоритма по наибольшей сумме симптомов. Если детерминистские оценки (1 и 0) заменить вероятностными, то можно получить намного более точные критерии для дифференциальной диагностики, которая требуется в клинике.

различных вариантов диагнозов нужно быстро выяснить наиболее вероятные из них. Так, в Киеве в Институте математики АН УССР под руководством профессора Б. В. Гнеденко почти 10 лет назад была создана релейная машина (в ней основными логическими элементами являлись обыкновенные реле). Эта машина производила вычисления по таблице-матрице, содержащей 90 признаков—симптомов болезней и 156 вариантов диагнозов. Описываемая релейная машина была «нацелена» на дифференциальную диагностику врожденных и приобретенных пороков сердца и использовалась хирургами для отбора лиц, подлежащих оперативному лечению.

С помощью программы в виде таблицы-матрицы могут быть определены только заболевания с полным набором симптомов. Большинство встречаемых на практике болезней не являются типичными, и ряд симптомов может отсутствовать. Более того, при такой логике полностью игнорируется значимость симптомов, хотя известно, что в отдельных случаях встречаются так называемые патогномоничные симптомы, т. е. свойственные только одному заболеванию. Определенный шаг вперед был сделан советским ученым П. С. Мисюком, который разработал матричный алгоритм для диагностики опухолей мозга. Алгоритм включал 476 признаков и 64 диагноза. При этом для повышения точности и качества диагностики были введены оценки по значимости каждого симптома: наиболее характерные (патогномоничные) симптомы получали 3 балла, наименее характерные — 1 балл. Диагноз ставился по сумме баллов. Эти опыты проводились на машине «Урал-1». Машина выдавала несколько диагнозов в порядке убывания их вероятности. Целая группа диагностических алгоритмов разработана на основе вероятностных критериев. Вместо словесной оценки симптомов болезни — «часто», «очень часто», «редко» употребляется численное выражение вероятности данного симптома при данной болезни. Патогномоничные симптомы имеют вероятность, равную единице. Вероятность симптомов, которые никогда не встречаются при данном заболевании, равна нулю. Например, вероятность головной боли при гипертонической болезни равна 0,8, а при язве желудка — ниже 0,2. Вероятностные критерии устанавливаются на основании статистической обработки результатов клинических исследований и данных, содержащихся в историях болезни. Если известны вероятности симптомов для каждого заболевания, то можно подсчитать сумму вероятностей симптомов, имеющих у данного больного, применительно к отдельным заболеваниям. Разработаны специальные расчетные формулы, которые учитывают имеющийся медицинский опыт, влияние географических, сезонных, эпидемиологических и других факторов. Большие исследования в области вероятностно-информационных оценок при вычислительной диагностике были проведены советским ученым М. А. Быховским, который совместно с профессором А. А. Вишневым основал

в Институте хирургии АМН СССР один из первых в нашей стране медицинских вычислительных центров.

Один из диагностических алгоритмов, получивший название логики фазового интервала, использует геометрические представления состояний нормы и патологии в виде совокупности точек на плоскости или в пространстве. При этом каждая из осей графика — это определенный параметр живого организма. Текущее состояние исследуемого человека может быть описано положением точки в системе координат. Можно очертить область, в которой все точки характеризуют состояние здоровья, а другая область будет соответствовать болезни.

С помощью вычислительной машины могут быть решены диагностические задачи, в которых состояния оцениваются не только в двух- и трехмерном, но и в многомерном пространстве. Большое внимание уделяется разработке алгоритмов, основанных на сравнении состояния исследуемого больного с состояниями других больных, уже проходивших обследование и лечение. Если удастся установить тождество между прошлым опытом и результатами текущих исследований, то опыт может быть использован для выбора оптимального лечения. Так, старые клиницисты, особенно в сложных и неясных случаях, используют ассоциацию с другими, уже изученными и известными им случаями. Однако в памяти врача могут удержаться только наиболее интересные и яркие картины клинических состояний. В этом отношении память вычислительной машины обладает преимуществом по объему и точности воспроизведения. Может быть создан медицинский архив, из которого происходит выборка данных по методу совпадения. Здесь каждому больному, находящемуся в данный момент в клинике, подбывается аналогия в прошлом, т. е. *ведется поиск клинического прецедента*. Практическая реализация такой системы осуществлена в Институте хирургии АМН СССР на основе использования перфокарт. Создание медицинских информационных систем для поиска клинических прецедентов позволит улучшить диагностику и выбор лечения.

Как известно, диагностический процесс не заканчивается постановкой диагноза, а продолжается во время проведения курса лечебных мероприятий. Врач постоянно оценивает эффект проводимого лечения, т. е. корректирует свой диагноз в соответствии с изменением клинической картины. Автоматизация этого процесса предусматривает набор матриц, соответствующих отдельным этапам болезни, так что переход от одного состояния к другому может быть идентифицирован с переходом от одного набора симптомов к другому. Но на практике течение заболеваний у разных больных настолько индивидуально, что скорость исчезновения разных симптомов и степени их выраженности существенно колеблется. Поэтому, конечно, целесообразно строить диагностические алгоритмы для контроля в динамических условиях на основе задания каждо-

му из признаков своей самостоятельной траектории. Известно, что изменения ряда показателей при развитии, к примеру, инфаркта миокарда у различных больных протекают по-разному. Так, нормализация зубца Т может наступить как в первую неделю болезни, так и через несколько месяцев. Восстановление амплитуды волн баллистокардиограммы наблюдается в разных случаях на 3-й, 15-й и даже 30-й день заболевания. Нередко снижение амплитуды волн баллистокардиограммы сохраняется и после клинического выздоровления. Как видно, создание общей для всех случаев программы контроля практически невозможно. Выходом из положения является установление порогов для каждого из показателей и слежение за каждым из них (если иметь в виду также весь комплекс показателей). Для этого устанавливают контрольные точки, где состояние больного соответствует определенному набору признаков — симптомов. Следящие алгоритмы применимы не только к оценке этапов болезни, но и при осуществлении наблюдений за изменяющимися физиологическими состояниями, например во время спортивных тренировок и соревнований.

Одним из важных свойств кибернетических систем является их способность к «самообучению». В процессе самообучения возникает новая информация, которая связана с целенаправленным поиском наиболее оптимального режима работы. Самообучающаяся кибернетическая система при соответствующем выборе критериев оптимизации способна сама изменить свои алгоритмы в направлении более быстрого достижения поставленной цели.

«Диагностическая машина» также может быть использована для улучшения диагностических алгоритмов. Свойство «самообучения» позволяет автоматически накапливать опыт машинной обработки и оценки данных, учитывать диагностические ошибки. При неправильном диагнозе машина вносит в свою «память» коррективы, которые касаются порогов значений отдельных показателей или их вероятностей, сочетаний отклонений и т. п. Программа самообучения строится таким образом, чтобы свести к минимуму число ошибочных диагнозов. Процесс самообучения может проходить на основе архивного материала и в результате работы по диагностике путем непосредственного ввода данных «от человека».

44 Алгоритм самообучения может быть основан на серии пробных постановок диагноза с различными коэффициентами, придаваемыми каждому признаку. Коэффициент — это «вес» признака. Наиболее удачный набор коэффициентов будет обнаружен по совпадению машинного диагноза с клиническим. Успешность процесса самообучения зависит от числа проанализированных случаев. По существу, машина с огромной быстротой изменяет свои «мнения» с каждым из признаков болезни, вводимых в нее, и окончательным мнением признает то, которое совпадает с известным решением. Быстрота процесса само-

обучения у машин несравненно выше, чем быстрота обучения человека. Поэтому целесообразно как можно раньше начинать накопление материалов для машинной обработки с последующим самообучением. Удачные алгоритмы для распознавания различных болезней таким путем уже разработаны многими авторами.

Остановимся на некоторых практических вопросах использования вычислительной техники в медицине. Среди многочисленных действующих в различных клиниках диагностических систем одной из старейших является система Института хирургии АМН СССР для дифференциальной диагностики врожденных пороков сердца. Основной элемент здесь — вычислительная машина «Урал-2». Обследование больных проводится врачами-клиницистами с применением различных лабораторных и инструментальных методов. Симптоматика больного записывается на специальном бланке, который вводится в цифровую вычислительную машину либо вручную с пульта, либо пробивается на перфокарте. История болезни занимает в машине 10 полных ячеек (сорокаразрядных). Программа диагностической системы состоит из «медицинской памяти» и «логики диагностического процесса». Медицинская память представляет собой таблицу, которая состоит из 50 болезней и 192 симптомов и занимает 1200 ячеек (она может совершенствоваться путем исправления вероятностных значений симптомов. Для этого производят специальный пробив перфокарты в определенной зоне, и коррективы автоматически вносятся в память машины).

Программы логических операций предусматривают последовательное применение детерминистской логики, вероятностной логики и логики фазового интервала.

Использование описанной диагностической системы позволило получить весьма хорошие результаты. Так, из 125 больных с различными врожденными пороками сердца в 106 случаях диагноз машины совпал с клиническим. В 4 случаях диагноз был выделен в результате включения детерминистской логики, а в 62 случаях потребовалось использовать и вероятностную логику.

Системы, подобные описанной, разработаны в нашей стране применительно к диагностике опухолей мозга, различных нервно-психических заболеваний, болезней печени и крови, глазных болезней и т. п. Но здесь, разумеется, вычислительная машина выступает в роли советчика врача, она усиливает его логические возможности, а самую громоздкую работу по сбору данных о больном должен делать медицинский персонал. В то же время для работающих в операционной или при контроле за тяжелыми больными наибольшую ценность имеет оперативная, срочная оценка состояния пациента. Поэтому создаются системы, которые автоматически собирают информацию, анализируют ее и констатируют ухудшение состояния или даже сигнали-

зируют о необходимости срочных мер. Такие устройства создаются на базе вычислительных машин или в виде электронных логических схем.

Электронное логическое устройство для автоматического диагностирования гипоксического состояния было разработано под руководством В. Б. Малкина еще в 1962—1963 гг. Это устройство позволяет определять стадии гипоксии (нехватки в организме кислорода) и может использоваться не только при «подъемах» в барокамере, но и в клинических условиях, поскольку изменения физиологических функций при выраженном кислородном голодании аналогичны предобморочному состоянию. Описываемое устройство регистрирует 5 параметров: электроэнцефалограмму в спектре 2—8 герц, частоту пульса, насыщение артериальной крови кислородом, частоту дыхания, артериальное давление. Каждый из параметров оценивается соответствующим кодом, в зависимости от того, находится ли его значение в пределах нормы, ниже или выше ее. Специальный код вырабатывается, если значение параметра критическое (например, пульс ниже 40 в 1 мин, дыхание менее 2 в 1 мин, насыщение крови кислородом менее 60%). По сочетанию кодов отдельных данных происходит сигнализация о состоянии исследуемого с помощью цветных световых индикаторов.

Диагностическая система с непосредственным вводом информации от человека в анализирующее устройство может быть создана и на базе цифровой вычислительной машины. Одна из таких систем, разработанная советскими учеными, использует для контроля за состоянием человека четыре параметра — ритм сердца, частоту дыхания, температуру тела и сейсмокардиограмму (принцип сейсмокардиографии описан выше). Другая подобная система использует только один фактор — ритм сердечных сокращений. Кибернетика открывает широкие возможности автоматизации врачебного труда. Выше было показано, какую помощь от вычислительной техники может получить врач при осуществлении диагностического процесса. Возможности быстрой обработки больших объемов информации и быстрого анализа и оценки данных с использованием алгоритмов, концентрирующих в себе опыт наиболее квалифицированных представителей медицинской науки, делают крайне необходимым широкое внедрение разнообразных диагностических машин и устройств для обработки имеющихся данных. Однако установка такого оборудования в каждом медицинском учреждении (подобно тому, как почти повсеместно имеются, например, электрокардиографы) представляется экономически нецелесообразной. Помимо высокой стоимости вычислительного оборудования, оно нуждается в обслуживании опытными инженерами и техниками. Многими учеными в связи с этим высказывается мнение о желательности создания медицинских диагностических центров, которые могли бы обслуживать большие группы лечебных учреждений.

Мы рассмотрим один из возможных проектов такого центра. Его основными задачами могут быть следующие.

1. Обработка и анализ данных разнообразных инструментальных исследований (электрокардиограмм, электроэнцефалограмм и т. п.).

2. Оказание помощи в постановке диагноза и выборе лечения.

3. Накопление данных о симптоматике и течении различных заболеваний с целью создания медицинского архива.

4. Обеспечение автоматических профилактических исследований больших контингентов населения.

5. Централизованный учет работы медицинских учреждений.

6. Выяснение зависимости заболеваемости от различных метеорологических, производственных и социально-экономических факторов.

Этот перечень задач мог бы быть продолжен. Мы подробнее рассмотрим каждую из задач, но сначала посмотрим, какой могла бы быть структура подобного диагностического центра. Основные его элементы, как и элементы описанных выше диагностических систем, должны представлять собой устройства ввода и вывода, устройства для накопления и хранения информации и устройства для переработки данных. Ввод информации, как уже указывалось, требует стандартизации методов ее сбора, унификации способов регистрации, выработки единого кодового медицинского языка. Диагностический центр должен обеспечивать прием информации на различных носителях — перфокартах, перфоленте, магнитной ленте, фото- и бумажных диаграммах и т. п. Кроме того, важную роль может играть и непосредственный ввод данных по проводам из рядом расположенных больниц и поликлиник или по телефону. Должен быть также предусмотрен клавишный ввод с пультов, расположенных в самом центре.

Ввод информации может быть унифицирован. Наиболее целесообразным нам представляется бланк с печатным текстом (должны быть различные формы бланков для решения разных задач). Естественно, что необходимо обеспечить возможность дистанционной передачи решений по проводам или телефону. Следует также предусмотреть различные выходные устройства для просмотра и прослушивания данных, хранящихся в «накопительных агрегатах» системы. В настоящее время уже созданы накопители, позволяющие хранить до 10^7 бит информации¹. Ожидается, что вскоре будут созданы еще более мощные запоминающие устройства с достаточно быстрым поиском и анализом своего «архива». Арсенал накопительных устройств уже

¹ Б и т — единица измерения информации,

сейчас включает накопители на перфолентах, магнитных лентах, ферритах, магнитных барабанах, фотоносителях. Основная трудность при создании накопительного устройства для медицинского диагностического центра будет состоять не в технической реализации, а в выборе оптимального метода для кодирования данных.

Устройством для переработки данных может служить современная вычислительная машина с быстродействием до 100 000 операций в секунду. Такие машины выпускаются сейчас серийно, а в ближайшие годы можно ожидать появления машин с быстродействием в 10 и даже в 100 раз большим.

Медицинская техника и хирургия



Современная хирургическая клиника. Даже для врача-неспециалиста в области хирургии, окончившего медицинский факультет лет 30—40 тому назад, многое в постановке работы, в многочисленных аппаратах, находящихся не только в специальных диагностических лабораториях, но и в самой операционной, будет совершенно новым и необычным.

Операции на сердце, несомненно, являются крупнейшим достижением современной медицины. Первым в нашей стране еще в 1948 г. оперировал больного с врожденным пороком сердца замечательный советский хирург академик А. Н. Бакулев. Весь мир знает имена наших выдающихся хирургов Н. М. Амосова, А. А. Вишневого, П. А. Куприянова, Е. Н. Мешалкина, Б. В. Петровского, благодаря которым операции на сердце достигли высокого совершенства и стали эффективным средством лечения многих заболеваний, еще недавно считавшихся смертельными. Однако эти операции стали возможными только в результате развития соответствующих технических средств и методов. Как оперировать на сердце, если только прикосновение к нему может вызвать остановку сокращений, а малейший разрез приведет к опустошению сердечных полостей — кровообращение остановится, больной погибнет! Но из этого, казалось бы безвыходного положения, есть выход: на время операции заменить сердце специальным аппаратом, который, работая как насос, обеспечит ежеминутную перекачку 4—5 литров крови. Первый такой аппарат-автожектор был разработан и изготовлен замечательным советским ученым изобретателем С. С. Брюхоненко еще в 1926 г. Опыты, проведенные на собаках, показали, что автожектор обеспечивает искусственное кровообращение при остановленном сердце, но применить подобный прибор в хирургической клинике на людях довелось лишь три десятилетия спустя. 27 ноября 1957 г. в Институте хирургии АМН СССР профессор А. А. Вишневский впервые в нашей стране сделал операцию на сердце, используя аппарат «искусственное сердце».

Современный аппарат искусственного кровообращения (АИК) представляет собой сложное техническое устройство не только перекачивающее необходимое количество крови, но и обогащающее ее кислородом («искусственные легкие»), а также управляющее скоростью нагнетания крови, чтобы изменить

давления в сосудах были наиболее «привычными» для организма. При применении АИК приходится прежде всего считаться с опасностью свертывания крови при соприкосновении ее с чуждым веществом. Это осложнение связано с большим риском: образовавшийся сгусток может оторваться и, попав в ток крови, вызвать эмболию (закупорку сосудов). Эта опасность устранена теперь применением пластин (соприкасающихся с кровью) из новых пластических веществ типа хлорвинила, поверхность которых «гемофобична» — не смачивается кровью. Кроме того, в кровь вводят гепарин, лишаящий ее способности свертываться. Введение антагонистов гепарина тотчас же после операции восстанавливает свертывающие свойства крови, что устраняет опасность послеоперационных кровотечений. Для того чтобы при длительных операциях снизить потребность тканей в кислороде, уменьшить интенсивность обмена веществ в организме, прибегают к искусственному охлаждению крови в специальных теплообменниках. Такая мера позволяет уменьшить объем крови, перегоняемой АИК-ом, что снижает кровотечение из операционной раны и делает организм более устойчивым в послеоперационном периоде. При охлаждении организма (гипотермии) хирургам приходится контролировать состояние головного мозга, для чего ведется постоянная регистрация электроэнцефалограммы. Одновременно автоматически контролируется электролитный состав, кислотно-щелочное равновесие и содержание кислорода и углекислоты в крови, ведется непрерывная запись электрокардиограммы. Таким образом, искусственное кровообращение является в равной степени достижением и медицинской науки и техники.

Но современные операции на сердце были бы неэффективны или даже невозможны без таких технических «новинок», как искусственные клапаны, синтетические кровеносные сосуды, сосудосшивающие аппараты и др.

Одним из часто встречающихся пороков сердца является недостаточность клапана, его неспособность полностью закрывать отверстие между предсердием и желудочком, или между левым желудочком и аортой, или правым желудочком и легочной артерией. При этом выбрасываемая желудочком в аорту кровь частично возвращается обратно в предсердие или в желудочек. Возникает недостаточность кровообращения. Вначале при небольших нагрузках, а затем и в покое у больного наблюдается одышка, синюшность, появляются отеки.

50

Возможность оперировать на сердце стимулировала поиски способов «исправления» дефектов сердечного клапана. Вначале пытались заменить испорченный клапан другим, взятым из сердца умершего человека, но вскоре получили распространение искусственные клапаны из пластмассы. Например, одним из типов таких клапанов является пластмассовый шарик, заключенный в сетку из нержавеющей стали. Сетка вшивается в отверстие между полостями сердца, а шарик при сокращении пред-

сердцй пропускает кровь в желудочек, а при сокращении желудочка плотно закупоривает отверстие. Сейчас выпускаются также искусственные клапаны в виде дисков, полусфер или с отдельными створками.

Весьма важны для хирургии сердца и грудной хирургии (в частности, при операциях на легких) искусственные кровеносные сосуды, изготавливаемые из нейлона, тефлона, дакрона.

Неотъемлемой частью технического вооружения хирургии являются сегодня аппараты для быстрого сшивания сосудов, соединения частей кишечника, ушивания корня легкого. Хирургические швистатели позволяют при помощи танталовых крепок буквально в несколько секунд накладывать швы на различные органы, в то время как без таких аппаратов это нередко занимало несколько часов. В создании таких «скоросшивателей» советские ученые и инженеры опередили весь мир. Недаром иностранные хирурги, пользуясь уже вошедшим в международный обиход русским словом «спутник», называли эти аппараты «хирургическими спутниками».

Но не все сердечные заболевания можно лечить хирургическим путем. У многих больных, например, атеросклерозом, грудной жабой или после инфаркта сердечная мышца утратила свою силу, в ней развилась соединительная ткань, нарушился обмен веществ, уменьшилось кровоснабжение. Здесь может помочь замена старого сердца новым. Сегодня вопрос о пересадке сердца уже не является достоянием фантастов. Четко выявилось два направления в решении этой проблемы. Так, одни ученые считают, что нужно идти биологическим путем и пересаживать вместо больного сердца здоровое, взятое от человека, погибшего в результате катастрофы или болезни, не связанной с поражением сердца. (Исследуется также возможность пересадки человеку сердца от животных).

К числу энтузиастов этого направления относится советский исследователь В. П. Демихов. Им разработана техника пересадки сердца и проведены сотни и тысячи операций на животных, доказавшие возможность длительного выживания животных с чужим сердцем. Именно работы В. П. Демихова послужили основной базой для сенсационных операций кейптаунского хирурга Барнарда, второй из пациентов которого через 74 дня после такой операции был выписан из клиники. Однако проблема биологической совместимости пересаженного сердца с новым организмом-«хозяином» требует еще тщательного изучения, и отсутствие готовых решений в этой области явилось, по-видимому, причиной неудачи и первой операции Барнарда, и произведенных вскоре вслед за нею подобных операций в США, Франции, Англии.

Другие ученые работают над воплощением идеи искусственного сердца. Достижения электроники и автоматики создают предпосылки для создания такого искусственного органа, который мог бы быть помещен в грудную полость человека.

Основные трудности создания искусственного сердца состоят в следующем. Прежде всего необходимо, чтобы в процессе работы искусственного сердца не разрушались красные кровяные шарики, не образовывались бы сгустки крови. Затем надо, чтобы частота и скорость тока крови, а также ее количество соответствовали потребностям организма. Для длительной работы искусственного сердца нужен источник энергии. Уже созданы конструкции различного типа. Желудочки сердца изготовлены из пластмассы и имеют форму мешочков, хорошо освобождаются от крови при маятникообразных движениях перегородки. Эти движения обеспечиваются электрическим мотором. В другой модели использована магнитная система с мембранно-масляной передачей. Изготовлена также модель, в которой тяжёлый мотор размещен вне грудной полости и трубки проходят сквозь грудную стенку. Имеются также конструкции, приводимые в движение воздухом под давлением. Опыты на собаках показали, что продолжительность жизни животного с искусственным сердцем не превышает суток. Однако темпы научно-технического прогресса в настоящее время столь интенсивны, что проблема «искусственного сердца», несомненно, будет решена, по-видимому, в ближайшие десятилетия.

Надежду на успех в отношении искусственного сердца вселяет также успешная работа по искусственной почке. Немало случаев тяжелого состояния, даже гибели больных связано с заболеванием почек, которые выполняют функцию фильтров, очищающих кровь от ядовитых продуктов обмена. Если такое «оздоровление» крови идет недостаточно быстро, в организме накапливаются вещества, тормозящие жизнедеятельность, начинается самоотравление. Если лечебные мероприятия не обеспечивают возвращения к нормальному функционированию почек, то больного ждет смерть от уремии — накопления в организме мочевины и других вредных конечных продуктов обмена веществ.

Успехи хирургии сделали возможной операцию пересадки почек, которая производится сейчас известным советским хирургом академиком Б. В. Петровским. Но и здесь, как и при пересадке сердца, снова встает проблема биологической совместимости. Как правило, для пересадки берут почку у кого-либо из родственников. Наиболее эффективна пересадка у братьев или сестер-близнецов.

Первая пересадка почки человеку от трупа человека сделана советским хирургом Ю. Ю. Вороным в 1934 г. (Врачебное дело, 1950, № 9, стр. 813). При этом был получен хороший эффект, так как в течение короткого времени, пока действовали пересаженные органы, собственные почки больного восстановили свою функцию. В последние годы пересадка почек производится с использованием средств, подавляющих невосприимчивость организма к чужеродной ткани — это рентгеновские лучи, антибиотики, фармакологические, гормональные

препараты. И все же только часть таких операций может надолго продлить жизнь больных. Значительное число неудач, особенно в так называемых острых случаях, стимулировало мысль инженеров и ученых и в ином направлении. При разнообразных заболеваниях, когда почки быстро ухудшают свою работу (отравление сулемой, острое воспаление), единственным методом спасения больного является применение искусственной почки. Цель — выгадать время для восстановления функций этих естественных органов. Принцип действия искусственной почки весьма прост. Кровь больного из артерии поступает в сосуд, одна из стенок которого является полупроницаемой мембраной и имитирует тканевой биологический фильтр, существующий в почке между сетью капилляров и мочевыми канальцами. В большинстве моделей искусственной почки в качестве такой мембраны используют целлофан.

Искусственная почка пока еще представляет собой солидное и даже громоздкое сооружение размерами $130 \times 75 \times 75$ см и весом в 140 кг. Однако такой агрегат не только может выполнять функции естественной почки, но и обладает целым рядом достоинств. Но сначала расскажем немного подробнее об устройстве одной из моделей этого интересного аппарата. Из какого-либо крупного сосуда больного, например из лучевой артерии, через хлорвиниловую трубку кровь поступает в диализатор (эта часть искусственной почки имитирует мочевые канальцы и состоит из наложенных одна на другую плексигласовых рамок с натянутым на них целлофаном). Кровь попадает в узкое пространство между двумя рамками, а с обеих сторон прогоняется специальная жидкость, куда переходят из крови через целлофан накопившиеся в ней вредные вещества. Установленные параллельно 10 или 20 рамок с целлофаном позволяют пропускать через диализатор необходимый объем крови. Очищенная кровь после улавливания пузырьков воздуха, которые могли попасть в нее в ходе диализа, через другой искусственный сосуд поступает обратно в вену больного.

Искусственная почка может «выполнять» и дополнительные задания. Она способна извлекать из крови «лишнюю» воду, вводить в кровь лечебные вещества, насыщать ее кислородом, охлаждать или подогревать. Над всеми этими применениями искусственной почки в настоящее время работают ученые и конструкторы, в частности Е. Ф. Горбовицкий. Как видите, искусственная почка не только может временно замещать «неисправную» естественную, но и выступать в роли лечебного, наркозного, дыхательного аппарата. Если прибавить к этому, что развитие техники позволит со временем существенно уменьшить искусственную почку, а затем обеспечить ее автоматическое управление в соответствии с потребностями обслуживаемого ею больного, то станет ясно, какое громадное поле деятельности открывается перед инженерами и врачами, кибернетиками и биологами в этой новой области.

Говоря о техническом перевооружении современной хирургии, нельзя не упомянуть об атомном и ультразвуковом «ножах» и лучах лазера. Атомный нож это концентрированный пучок протонов, который получают с помощью мощного циклотрона. Этот пучок, подобно лучам света, можно сконцентрировать в одной точке в глубине тела, причем протоны не причиняют никакого вреда тканям, через которые они проходят. Это свойство протонных пучков использовано нейрохирургами для операций на головном мозге. При некоторых заболеваниях (например, опухолях мозга) таким путем можно разрушить злокачественный очаг, действуя через неповрежденный череп. Не нужно вскрывать черепную коробку и осуществлять довольно опасное оперативное вмешательство в ткань мозга — ведь проникающая способность пучков протонов достигает 20 см. Первые операции такого рода произвели шведские хирурги. Сейчас этот метод начинает применяться во всем мире.

Для упорядочения или изменения функций ряда мозговых структур (что бывает необходимо с лечебной целью при некоторых нервных и психических заболеваниях) успешно применяется ультразвуковой «нож». С помощью специальных излучателей ультразвуковые колебания большой мощности фокусируют на определенной глубине в узколокализованном участке мозга. Ультразвук вызывает разрушение и белого и серого вещества мозга, однако белое вещество более чувствительно к нему. Благодаря этому создается возможность нарушения нервных путей (белое вещество — это скопление нервных волокон) без повреждения важных мозговых центров. При использовании ультразвукового «ножа» обеспечивается не только бескровное оперативное вмешательство, но и делается возможным избежать нарушения целостности сосудов, расстройств мозгового кровообращения и нарушений функций вышележащих отделов мозга, что является подчас самыми неприятными побочными спутниками нейрохирургии.

Наконец, самое новое «оружие» хирургии — это лазер-квантовый генератор оптических лучей большой мощности, созданный советским физиком академиком Н. Г. Басовым, получившим за это открытие Нобелевскую премию 1966 г. С помощью фокусирующей системы можно получить пучок света диаметром в несколько микрон, но с энергией в десятки тысяч ватт! Так же как и при фокусировании протонного луча, вся его мощность сосредоточена в одной точке, так что поверхностные ткани не повреждаются. Сейчас на первом этапе применения лазеров практически они используются в офтальмологии. Сделан ряд удачных операций по своего рода «сварке» отслоившейся сетчатки (при некоторых заболеваниях, например злокачественной гипертонии, возникает отслоение сетчатки, человек теряет зрение). Теперь «лазерная хирургия» начинает успешно бороться с подобными болезнями.

Экспериментально, в исследованиях на животных доказана

возможность разрушения с помощью лазера злокачественных опухолей, причем в связи с громадной мощностью излучения время действия лучей равно всего нескольким миллисекундам.

Необходимо указать, что применение протонного, ультразвукового и лазерного «ножей» для операций на мозговой ткани стало возможным не только благодаря развитию техники получения соответствующих средств воздействия на живую ткань, но и в непосредственной связи с техникой *стереотаксиса* (стерео — пространство, таксис — движение). Стереотаксическая хирургия — это вмешательство в строго определенные участки мозговой ткани, заранее установленные по результатам разнообразных диагностических исследований. Представьте себе, что хирург должен попасть в участок, находящийся в глубине мозга, с точностью до 1 мм. Ошибка на 1 мм, грозит необратимыми осложнениями. Для того чтобы обеспечить необходимую точность, созданы специальные стереотаксические аппараты, которые позволяют вводить иглы или воздействовать атомным «ножом» точно в намеченные мозговые образования.

Первый стереотаксический аппарат — *энцефалометр* предложил свыше 75 лет тому назад известный русский анатом Д. Н. Зернов. В 1947 г. Шпичелем и Вицисом разработан стереотаксический аппарат для нейрохирургических целей. В 1963 г. под руководством Н. П. Бехтерева был создан метод расчета стереотаксических координат с применением электронной вычислительной машины (В. В. Усов).

Одним из новейших достижений нейрохирургии и нейрофизиологии является метод стереотаксического вмешательства в подкорковые структуры мозга с помощью множественных электродов (Н. П. Бехтерева, А. П. Бондарчук, В. М. Смирнов, А. И. Трохачев. Физиология и патофизиология глубоких структур мозга человека, Л., 1967). Одномоментные стереотаксические вмешательства нередко давали осложнения во время и после операции (до 33% случаев). Это было обусловлено отчасти неточностью введения электродов, отчасти неправильной дозировкой разрушающих воздействий. При множественном введении тонких электродов (до 10 штук в пучке) из платино-иридиевого сплава или золота появляется возможность локально и дозированно воздействовать на несколько подкорковых образований, которые предварительно исследованы в отношении их участия в функциях мозга. Так как подобные электроды находятся в мозговой ткани длительное время (недели и месяцы), то врачи вначале производят диагностические исследования, раздражая электрическим током отдельные образования и наблюдая их эффект. Затем после точного определения необходимых точек производят электролитическое воздействие, т. е. разрушают ткань электрическим током. Такое разрушение можно проводить постепенно, наблюдая за его эффектом. Описан-

ным методом успешно лечат гиперкинезы (паркинсонизм — насильственные двигательные реакции), некоторые виды параличей, эпилепсию и другие болезни.

Заканчивая настоящий раздел, мы хотели бы еще раз отметить, что успехи хирургии были бы невозможны без применения достижений электроники и автоматики, химии синтетических материалов и математики, кибернетики и физики. Современный хирург должен быть широко эрудированным специалистом и уметь использовать в своей работе разнообразные технические средства, математические методы, искусственные химические материалы и т. д.

Радиоэлектронные «микстуры»



большинства людей слово «лечение» ассоциируется с обильным приемом порошков, таблеток, микстур. Мы же здесь расскажем о радиоэлектронных «микстурах», о лечебном эффекте электромагнитных излучений и электрического тока. Эти виды воздействий на организм начали применяться уже давно (многим, видимо, приходилось неоднократно лечиться токами и полем ультравысокой частоты, диатермией и гальванизацией). В последние годы были изучены механизмы взаимодействия электромагнитной энергии с биологическими структурами. При этом выяснилось, что поглощение энергии тканями может быть обусловлено разными физическими механизмами. В том числе резонансным поглощением, релаксацией (колебаниями) молекул, ионизацией или ионной проводимостью.

Видимый свет, ультрафиолетовое и инфракрасное излучения, применяемые с лечебными целями — светолечение, солнечные ванны, а также сверхвысокие частоты вызывают в живых клетках явления резонанса на атомном или молекулярном уровне. Облучение живого организма электромагнитной энергией с более высокими частотами (рентгеновские и гамма-лучи) приводит к ионизации, прямым следствием которой является образование в клетках токсических веществ (лучевая болезнь). На частотах порядка 10^{10} — 10^{16} герц возникают особые колебательные движения молекул. При этом чем ближе частота воздействующих колебаний к собственной частоте молекулы, тем больше поглощение энергии. Максимум поглощения энергии за счет релаксации молекул в живом организме наблюдается на частотах 10^6 — 10^8 герц, которые соответствуют применяемым в радиовещании средним, коротким и ультракоротким волнам. На более низких частотах биологическое действие электромагнитной энергии обусловлено в основном ионной проводимостью, т. е. изменениями концентрации ионов в клетках и тканях. Все это в конечном итоге может вызвать термический эффект, привести к изменению обменных процессов, к раздражению живых возбудимых структур и, наконец, при соответствующем выборе частоты и величины воздействия, — к ломке тканевых структур, появлению ядовитых продуктов распада. Нужно сказать, что к этим выводам ученые пришли в результате напряженной работы многих лабораторий, убедившись в

последние годы в громадной сложности процессов, происходящих в организме при его взаимодействии с электромагнитной энергией. Мало того — на некоторых частотах одновременно могут действовать несколько механизмов, а оценка эффекта лечения затруднена тем, что пока невозможно измерить непосредственную реакцию клеток и тканей, приходится судить о результатах лечения или эмпирически («помогает» или «не помогает») или по рефлекторным реакциям всего организма. Ясно, что здесь простирается громадное поле деятельности для инженеров и физиков, математиков и биологов, которым предстоит найти пути для индивидуальной дозировки электромагнитных излучений, применяемых в клинике. Особенно важно это в связи с развитием методов лечения с помощью изотопов. Ведь «добрая» радиация, которая, по замыслу врачей, должна уничтожать только вредные для организма клетки и ткани, может причинить и «зло», если не принять меры к ее строгому дозированию!

Рассматривая приборы для получения радиоэлектронных «микстур», следует обратить внимание на то, что они составляют две большие группы: аппаратура для лечения постоянным током и токами низкой частоты, и аппаратура для лечения как токами, так и полем высокой и сверхвысокой частоты. При лечении постоянным током используются свойства тела как проводника электрического тока. Интересно, что электропроводимость внутренних органов определяется содержанием тканевой жидкости и ток между электродами, наложенными на тело, идет не кратчайшим путем, а «по берегам» потоков тканевой жидкости (в частности, вдоль кровеносных и лимфатических сосудов). От действия на организм постоянного тока (*гальванизация*) возникают электрохимические явления, например электролиз. Не случайно поэтому получил значительное распространение метод *ионофореза* — введение в организм заряженных частиц лекарственных препаратов (для этого прокладка между электродом и кожей смачивается раствором соответствующего вещества). Одни из препаратов, физиологически активные ионы которых положительны, вводятся в организм с положительного электрода (хлористый кальций, новокаин и др.), другие — с отрицательного электрода (сернокислая магнезия, пенициллин и иные антибиотики и т. д.). Интересно отметить, что попавшие в организм с помощью электрического тока вещества не проникают на большую глубину. Они задерживаются в коже и подкожной клетчатке возле электродов, образуя так называемые кожные депо ионов, откуда затем постепенно переходят в общий ток крови и разносятся по организму.

Переменные электрические токи низкой частоты используются для лечения нервно-мышечных заболеваний (например, для стимуляции и тренировки мышц при снижении их функциональных свойств после таких заболеваний, как полиомиелит).

лит, или поражения электрическим током). Раздражающее действие переменного тока зависит от его характеристик: длительности каждого импульса и паузы. Для каждого случая подбирается соответствующая характеристика тока. В настоящее время разработаны методики стимуляции не только мышц опорно-двигательного аппарата, но и мочевого пузыря, матки, дыхательных мышц и т. д.

Пользуясь переменными высокочастотными колебаниями, выбирают такую частоту, чтобы исключить раздражение тканей и получить преимущественно тепловой эффект. Однако, как сейчас известно, имеется и специфическое влияние электромагнитной энергии на биологические процессы (в основе этого влияния лежат упомянутые выше резонансные и релаксационные явления).

Как действуют различные виды электролечения? Они уже широко вошли в обиход больниц, поликлиник, санаториев — почти во всех таких учреждениях мы видим, по крайней мере на одной из дверей, табличку с надписью «Кабинет электротерапии». Многим из читателей приходилось подвергаться такому лечению и видеть сверкающие никелем, хромом, темным и светлым лаком замысловатые приборы. Поэтому, вероятно, будет интересно узнать, на чем основано их лечебное действие.

Для лечебной *диатермии* (глубокое прогревание тканей) используют колебания, соответствующие средним волнам радиовещательного диапазона. Лечебная процедура сопровождается ощущением легкого тепла на месте наложенных электродов. В самом деле, не больше 40% общего тепла выделяется в поверхностно лежащих тканях, а все остальное — в глубоких. В отличие от диатермии лечение *токами ультравысокой частоты* (длина волны 5—8 м) не требует прямого контакта проводников с кожей. Пациент находится в электрическом поле, напряженность которого и характер зависят от расположения металлических пластин, между которыми и возникает это поле. Если требуется прогревание глубоколежащих тканей, берут пластины значительной площади и располагают их далеко от кожи. При желании получить поверхностный прогрев подбирают пластины возможно меньшей величины и устанавливают их на небольшом расстоянии от кожи. Мы только что отметили, что, помимо теплового действия, на ультравысоких частотах (УВЧ) имеет место и биологический эффект, связанный с молекулярным резонансом. Чтобы увеличить этот специфический эффект и избежать при этом опасности чрезмерного перегревания тканей, пользуются лечением *импульсным электрическим полем*. Особенность этого метода состоит в том, что энергия генерируется аппаратом не непрерывно, а отдельными порциями — импульсами длительностью в несколько микросекунд, разделенными один от другого паузами в сотни и тысячи микросекунд. Это позволяет повысить напряженность поля в импульсе в десятки раз по сравнению с непрерывным излу-

нием. Таким образом резко повышается специфическое действие УВЧ. (Для дальнейшего усовершенствования этого метода нужно еще, однако, исследовать импульсные режимы и выбрать наиболее оптимальные.) Здесь уместно провести аналогию с современной радиолокационной системой. Принцип действия радара, как известно, состоит в том, что излучается импульс электромагнитной энергии, а его отражение от металлических частей самолета или ракеты улавливается чувствительным приемником. Прием сигналов происходит в паузах между излучениями. Пожалуй, идея импульсной УВЧ-терапии весьма напоминает принцип работы радара, здесь только не хватает «чувствительного приемника», чтобы регистрировать эффект воздействия электромагнитного излучения на живую ткань: роль этого приемника играет она сама.

По мере увеличения частоты колебаний молекулярный резонанс в тканях уступает место атомному резонансу. Чтобы повысить влияние этого атомного резонанса (что дает уже качественно иной биологический эффект) в последнее время стали применять *микроволновую терапию* — электромагнитные волны длиной около 10 см. Такие сверхвысокие частоты получают с помощью специальных генераторных ламп — магнетронов, в которых совмещаются функции электронной лампы и колебательного контура. Передача образуемых в магнетроне колебаний сверхвысокой частоты к пациенту осуществляется с помощью полых металлических трубок-волноводов, на конце которых имеется рефлектор-отражатель. Здесь можно провести аналогию с душем. Электромагнитная энергия, подобно струе воды, движется по волноводу к пациенту. Это упрощенное сравнение тем не менее хорошо иллюстрирует особенности микроволновой терапии: направленность излучения, ограниченность участков тела, подвергаемых воздействию, и менее глубокое проникновение в ткани, чем при других видах лечения высокочастотными электромагнитными колебаниями.

Мы не ставим перед собой задачи рассказать о всех видах и возможностях физиотерапии, а хотим лишь показать широкие (и далеко еще не использованные!) возможности радиоэлектроники для большего эффекта лечения. Следует упомянуть об *электро-аэроионотерапии*, ионизации окружающего воздуха с помощью постоянного электрического тока и тихого электрического разряда. Насыщение воздуха ионами оказывает хороший лечебный эффект при бронхиальной астме, гипертонии, многих нервно-психических заболеваниях. (Кстати, одним из важных лечебных факторов на морских курортах является повышенное содержание ионов в морском воздухе.)

Другим примером служит использование ультразвука, который получают с помощью генераторов электрических колебаний, соединенных с кварцевым излучателем (по этому принципу построен, например, наш советский аппарат УЗУ-1).

Механизм действия ультразвука на ткани сложен. В основ-

ном его составляют три фактора: механический, тепловой и химический. Механический эффект — это своего рода микромассаж глубоких тканей. Образующееся при этом повышение температуры ткани удается уменьшить применением импульсного режима.

Химическое действие связано с нарушением структуры молекул и изменением интенсивности обмена веществ. Здесь, однако, остается еще довольно много неясного, так как биофизическая специфичность влияния ультразвука на живые структуры изучена еще далеко недостаточно.

Наибольшее сходство «радиоэлектронной терапии» с лечением порошками и микстурами, пожалуй, проявляется в «электросне». О чем идет речь?

В отличие от ряда снотворных препаратов, например от люминала, после которых очень часто остается ощущение тяжести в голове, электросон несет при пробуждении свежесть и бодрость.

Изучением явлений, происходящих в центральной нервной системе при действии электрического тока, занимались выдающиеся русские физиологи И. М. Сеченов, Б. Ф. Вериге, Н. Е. Введенский. Теоретической основой работ в области электросна стало учение Н. Е. Введенского о парабииозе (1901). *Парабииоз* — это особое состояние возбудимой ткани, которое вызывается действием необычных раздражителей и представляет собой стойкое очаговое, локализованное возбуждение.

Первые попытки получения электросна и электронаркоза у животных и у человека сделал французский исследователь С. Ледюк в 1902 г. Но ему не удалось вскрыть физиологических механизмов этих явлений. Первым исследователем, специально изучавшим физиологическую природу электросна и электронаркоза, был русский ученый В. Ю. Чаговец (1906), который правильно проанализировал этот вопрос с точки зрения учения Н. Е. Введенского. Он пришел к выводу, что в основе электросна лежит парабииотическое торможение центральной нервной системы. В настоящее время этот метод лечения получил распространение для оказания помощи больным с нервными и психическими заболеваниями (в частности энцефалитом, шизофренией, различными неврозами). Заслуживает внимания и тот эффект, который был получен при лечении некоторых больных с язвой желудка и гипертонической болезнью.

Обычно врач назначает сеанс электросна продолжительностью от 1 до 4-х часов. Курс лечения составляет примерно 20 сеансов.

Электросон при увеличении силы тока, действующего на центральную нервную систему, переходит в электронаркоз. Сон наступает постепенно и не сразу прекращается после выключения тока. Электронаркоз, наоборот, возникает тотчас при включении тока более значительной силы, чем та, что нужна

для вызывания электросна, и исчезает сразу же при его прекращении.

Электронаркоз, несмотря на свою почти 60-летнюю историю, является относительно новым методом, весьма быстро «набирающим силы». У нас уже проведено много операций под электронаркозом — на желудке, легких, грудной железе и т. п. Полученные результаты можно считать весьма обнадеживающими.

Кроме электронаркоза, появилась возможность местного электрообезболивания при печеночной и почечной коликах, невралгиях, в стоматологической практике, для «малой поликлинической хирургии» (например, при вскрытии абсцессов, панарициев и т. п.).

Несколько слов об электрической стимуляции сердца.

Вообще говоря, понятие «биостимуляторы» включает в себя любые факторы, которые оказывают влияние на живой организм. Это и фармакологические препараты, и различные виды физиологического воздействия, в том числе электрический ток и электромагнитное излучение. С этой точки зрения стимуляция сердечной деятельности возможна с помощью микстур (например, микстура Бехтерева при сердечных неврозах), таблеток (валидол при болях в сердце) или физических, радиоэлектронных средств. Необходимость в электростимуляции сердца возникает при нарушениях автоматизма сердечных сокращений, «неисправностях» синусового узла или проводниковой системы. Сейчас клиницисты используют два типа таких побудителей: *дефибрилляторы и ритмические стимуляторы*.

Дефибрилляторы применяют для восстановления сокращений остановившегося или фибриллирующего, судорожно и бесплодно подергивающегося сердца (например, во время операции). Эффект основан на том, что сильное электрическое раздражение синхронизирует возбуждение всех мышечных элементов сердца, кладет предел хаотическому распространению волн возбуждения, лежащему в основе фибрилляции. С этой целью используется кратковременное включение переменного тока частотой в 50 герц и напряжением до 700 вольт, или (в других моделях) разряд конденсатора напряжением до 5 тысяч вольт. Врачами были получены положительные результаты при лечении дефибрилляторами мерцательной аритмии и пароксизмальной тахикардии.

62

Ритмическая стимуляция сердца помогает больным с заболеваниями синусового узла, блокадой проводящих путей, при тяжелых формах сердечной аритмии. Чтобы восстановить работу сердца при его внезапной остановке, применяется ритмическая электрическая стимуляция электродами, приложенными к поверхности грудной клетки, или электродом, вводимым через прокол грудной стенки. Если требуется длительная стимуляция сердца, то кардиохирурги используют вживляемые сти-

муляторы. Имеется два варианта таких стимуляторов — радиочастотный и автономный. Первый состоит из генератора импульсов, который располагается вне организма и работает на частоте в несколько мегагерц. Второй частью радиочастотного стимулятора является стимулятор, «вживленный» в тело пациента в области сердца (пластинка диаметром в 2,5 см и толщиной в 0,5 см). Это колебательный контур, настроенный на частоту генератора и соединенный через диодный детектор с электродами, введенными в сердечную мышцу.

Другой тип стимулятора — автономный — имеет вид плоского диска диаметром в 6 см и толщиной около 2 см, в котором расположены генератор и источник питания. Генератор ритмично вырабатывает 70 импульсов в 1 минуту напряжением в 2—8 вольт. Имеющийся внутри прибора аккумулятор рассчитан на недельный срок службы. Есть и индуктивная система для подзарядки аккумулятора от внешнего источника.

Теперь появились автономные стимуляторы с источниками питания, обеспечивающими непрерывную работу в течение 3—5 лет. В нашей стране успешная работа по разработке и внедрению электростимуляторов в клиническую практику проводится под руководством профессора Е. Б. Бабского.

Автоматические приборы и биоуправление в медицине



недрение кибернетики и электроники в медицину позволило вплотную приступить к автоматизации отдельных процессов диагностики и лечения. В одном из разделов настоящей книги уже рассказывалось о применении вычислительной техники для сокращения времени постановки диагноза заболевания и оценки состояния больных. Здесь мы рассмотрим некоторые вопросы создания автоматических приборов, облегчающих труд научных работников и врачей, что в конечном итоге улучшает качество медицинской помощи. И как пример может послужить разработанное в нашей стране автоматическое устройство для «управления климатолечением».

Известно, что на курорте действует огромное разнообразие климатических и физических факторов. Существует также значительное разнообразие проявлений заболеваний, обусловленное возрастом, полом, условиями труда и т. п. Перед врачом встает задача: правильно выбрать метод лечения с учетом всех вышеназванных условий. Мало того, необходимо обеспечить соответствующий контроль за состоянием пациента в процессе лечения и своевременно корректировать назначения в зависимости от получаемого эффекта. Учитывая большую сложность такого индивидуального дозирования и контроля лечебных процедур, нашими учеными был разработан автоматический дозиметр климатических воздействий. Прибор представляет собой вычислительное устройство, куда «вводят» данные о больном и внешней среде. В процессе лечения эти сведения постоянно дополняют закодированной информацией о состоянии больного и о суммарной дозе климатических воздействий (величина ультрафиолетовой радиации, температура воздуха и воды и т. д.). Сопоставляя исходные данные с текущими, прибор «выдает советы», автоматически сигнализирует о необходимости прекращения процедуры, если достигнута заданная дозировка. А вот другой пример. Исследователи К. Д. Груздев и М. П. Спиченков в поисках подхода к возможности автоматического выбора в каждый данный момент наиболее благоприятной для больного формы лечения провели работу по выбору частоты электрических стимулов на нервно-мышечном препарате (икроножная мышца лягушки, вырезанная из тела вместе с седалищным нервом). Биопотенциалы мышцы возникали в

ответ на ритмическое раздражение, а затем при помощи усилителя воздействовали на вход генератора (обратная связь). Частота генератора в зависимости от этой обратной связи могла изменяться в пределах 5—400 герц. Что же оказалось? При редком раздражении мышцы (5 раз в секунду) на входе генератора появлялся сигнал обратной связи и частота стимуляции повышалась. В результате увеличения частоты стимулов ответ мышцы становился оптимальным, а при дальнейшем повышении переходил в область «пессимума». «Уменьшение отъема» мышцы вело к уменьшению сигнала обратной связи и снижению частоты стимуляции. Наконец, после нескольких циклов смены частот наступала стабилизация в зоне оптимума. Таким образом, удалось экспериментально доказать возможность построения самонастраивающихся электростимуляторов. Иными словами, это и есть *автобиоуправление*, которому, несомненно, принадлежит большое будущее в дальнейшем развитии медицины и индивидуализации «дозировки» лечебных мероприятий.

Кибернетика вызвала к жизни приборы с автоматическими системами для сбора и дешифровки информации. Есть и такие, что способны автоматически распознавать самые различные микрообъекты: кровяные тельца — лейкоциты, эритроциты, бактериальные клетки и т. д. Такие приборы построены на основе сканирования (процесса, подобного действию строчной развертки телевизора) увеличенного изображения препарата диафрагмой, размер которой значительно меньше исследуемых объектов. Световой поток, проходящий через диафрагму и падающий на фотоэлемент, преобразуется в электрический сигнал и производится «считывание» изображения по строчкам. Стоит измениться освещенности и величина электрического сигнала изменяется. Все это время специальный счетчик подсчитывает число изменений освещенности (оно будет равно числу частиц). Скорость счета эритроцитов с помощью такого анализатора 200—300 в секунду при ошибке около 3%. Подобного типа сканирующие анализаторы микрообъектов позволяют не только вести счет, но и определять размеры частиц, выделяя большие или маленькие (ведь маленькая частица будет затенять поле зрения диафрагмы более короткое время, чем большая). В настоящее время разработан прибор для автоматической сортировки клеточных мазков с целью ранней диагностики рака. Аппарат вполне справился с заданной ему задачами сортировкой мазков с шейки матки. Он успешно «отобрал» мазки, в которых встречались клетки с ненормально большим и интенсивно окрашенным ядром (предположительно раковые клетки). На анализ одного мазка ушло всего около минуты, что является вполне пригодным для организации массовых профилактических обследований.

Представляет большой интерес также автоматическая система, позволяющая распознавать двухъядерные лейкоциты.

Число таких лейкоцитов в крови значительно увеличивается, например, при радиационном поражении.

Прибор для счета эритроцитов конструкции А. И. Полизовы измеряет электрическое сопротивление в капиллярном отверстии, через которое протекает раствор, содержащий кровь в определенном разведении. При прохождении кровяной клетки через отверстие капилляра сопротивление резко изменяется и на выходе измерительной схемы возникает импульс.

Значительные успехи достигнуты в области автоматизации биохимических анализов; созданы приборы для определения типов и количественного содержания гормонов и ферментов в биологических жидкостях, для газового анализа, определения времени свертывания крови, для анализа желудочного сока. Автоматизация коснулась и микробиологии. Созданы многоканальные (фиксирующие одновременно несколько явлений) устройства для регистрации различных показателей в процессе культивирования микроорганизмов (например, концентрация водородных ионов, температура, окислительно-восстановительный потенциал и т. д.). В институте микробиологии АН СССР разработано устройство, в котором нефелометрические измерения (измерение мутности раствора, в данном случае показывающее изменение числа микробных клеток в единице объема жидкости) производятся по одному каналу одновременно в нескольких культуральных сосудах. Для этого в устройстве, поддерживающем нужную постоянную температуру, установлен карусельный механизм с ячейками, в которые помещены стеклянные культуральные сосуды. Карусель, периодически поворачиваясь на определенный угол, поочередно устанавливает сосуды под луч света между осветителем и фотоэлементом.

Как пример автоматизации измерений в нейрофизиологической лаборатории мы приведем описание следящей системы для поиска нейронов при микроэлектродном исследовании (Р. М. Мещерский и С. Р. Гутман)¹. Обычно при исследовании активности нейронов много времени затрачивается на их поиск путем ступенчатого погружения микроэлектродов в ткань. Эта процедура утомительна для экспериментатора и связана с неизбежной гибелью части нейронов вследствие того, что экспериментатор не успевает вовремя остановить продвижение микроманипулятора. Прибор работает следующим образом. Когда микроэлектрод достигает точки, в которой амплитуда спайков (импульсов активности нейрона) достигает заданной величины, механизм продвижения тотчас же выключается. Несомненно, что этот принцип может в дальнейшем быть использован для создания автоматических микроманипу-

¹ Микроэлектродные исследования — введение тончайших (несколько микрон диаметром) электродов непосредственно в тело клетки. Это поистине чудо экспериментальной техники нашего времени, позволившее изучить ряд процессов, протекающих внутри живой клетки!

ляторов, которые окажутся необходимыми в нейрохирургической клинике.

Использование биологической информации с целью управления техническими системами открывает большие перспективы для решения многих вопросов медицинского приборостроения. Одним из первых биоуправляемых устройств явилась «искусственная рука» — активный протез, воспроизводящий нормальные движения кисти, — созданная советскими учеными во главе с В. С. Гурфинкелем и А. Е. Кобринским. Она с большим успехом демонстрировалась на всемирной Брюссельской выставке в 1958 г. В настоящее время протезы для рук с управлением от мышечных потенциалов культи предплечья выпускаются в нашей стране серийно, и лицензии на их выпуск приобрели многие зарубежные страны. Такой активный (а не только косметический) протез имеет браслет для отведения биопотенциалов мышц. На этом браслете укреплены металлические чашечки, заполненные токопроводящей пастой. Браслет можно одевать так, что чашечки устанавливаются в заданных точках. Отводимые с помощью браслета мышечные токи усиливаются, детектируются и поступают в интегрирующий блок, где формируется управляющий сигнал. Мощность этого сигнала пропорциональна мощности мышечных токов. Сигналы интегратора действуют на гидропривод, который и обеспечивает движение протеза.

Трудности разработки протезов с биоэлектрическим управлением связаны прежде всего с необходимостью устранить помехи, создаваемые токами действия соседних мышц. Дальнейшее совершенствование активных протезов идет по пути приближения их функции к естественным механизмам мышечных сокращений. Так, когда вы берете в руку спичечную коробку, то берете ее с такой силой, чтобы она не сломалась и чтобы можно было выдвинуть ее внутреннюю часть (без чего не вынешь спичку). Разная сила нужна, чтобы держать тяжелый молоток или хрупкий стакан. Регуляция силы сокращений в обычной жизни происходит потому, что мышца является не только органом, создающим механическую операцию, нужную для осуществления движения, но и тонким органом чувства — по ее воспринимающим нервам в мозг мгновенно передаются сведения о том, что движение осуществлялось и достигло определенной силы. Опыт предшествующей жизни заставляет мозг в каждом случае давать «команды»: «сильнее, а то уронишь», «слабее, иначе раздавишь», «так держать». Эти чувствительные сигналы от мышцы в мозг, играющие важнейшую роль в движении, принято теперь называть «обратной связью». Отсутствие этой обратной связи и является тем коренным отличием, что существует между активным протезом и живой здоровой мышцей, в которой одинаково надежно функционируют и ее двигательные и ее чувствительные нервы. Именно в этом направлении и идут сейчас поиски улучшения «искусственной

руки». Можно снабдить внутренние поверхности пальцев искусственной руки датчиками, преобразующими силу, с которой рука сдавливает предмет, в вибрации разной частоты или разной интенсивности. Если поместить такой вибратор на здоровую кожу предплечья, то появится снова обратная связь, правда, иная по своей природе. Центральная нервная система человека, однако, необыкновенно пластична (вспомним, например, как хорошо слепые читают пальцами, осязая комбинацию выпуклых точек в книге, напечатанной по системе Брайля), и лишенный кисти человек скоро научится правильно оценивать эти вначале необычные для него сообщения.

Есть и другие пути улучшения функциональных свойств активных протезов. Так, в последнее время начинают использовать различные логические и вычислительные электронные устройства в блоке преобразования сигналов, что позволяет осуществлять разные движения от одной команды. В протезе в этом случае как бы заранее заложены программы разных движений.

В качестве сигналов управления могут использоваться, кроме токов действия мышц, и различные другие физиологические реакции. Советский исследователь А. Лаурингсон изучал возможность управления с помощью потенциалов, возникающих при движениях глазного яблока. По его данным, повороту глазного яблока на 1 градус соответствует изменение потенциала на 10—40 микровольт. В пределах до 30 градусов сохраняется линейная зависимость угла поворота и амплитуды возникающего тока. Это дает возможность создать устройства для автоматического контроля за работой каких-либо технических систем. Недавно появилось сообщение об аппарате для «психического» (мысленного) управления включением электрической лампочки. В качестве сигналов управления при этом использовалась электроэнцефалограмма. При произвольной нервно-психической реакции испытуемого (активное желание зажечь лампочку) происходит закономерное изменение перераспределения напряжения токов на отдельных частях мозга. Пройдя через усилитель, это реле зажигает лампочку.

Описанные виды управления с помощью электрических явлений, возникающих в мышцах, глазу, мозге, могут быть названы произвольным управлением, так как сигнал может быть получен в результате волевого усилия. В системах непроизвольного управления используются биологические феномены, не зависящие от нашей воли и желания. Ярким примером такой системы является прибор для автоматического регулирования артериального давления. Принцип его работы состоит в том, что следящее устройство непрерывно получает информацию от электроманометра о высоте артериального давления у оперируемого больного. При падении давления ниже заданного уровня с помощью соленоида включается автоматический шприц, вводящий в вену больного определенную дозу адрена-

лина. Чрезмерное повышение давления вводит в действие такой же шприц, но с раствором вещества, снижающего давление.

Большое внимание уделяется и биоуправлению с помощью информации, возникающей при дыхании. В простейшем случае производят управление аппаратом искусственного дыхания токами действия дыхательных мышц. Интересная схема этого характера была предложена В. А. Полянцевым. Он избрал в качестве «руководящих» сигналов токи диафрагмального нерва. Этот способ очень физиологичен, поскольку эти токи являются, по существу, выходными командами дыхательного центра. В другом приборе использовались движения вспомогательных дыхательных мышц — расширителей крыльев носа. Прибор снабжен устройством, включающим независимое от управляющих сигналов искусственное ритмическое дыхание, если число импульсов дыхательного центра падает ниже некоторой заранее заданной частоты.

Рассматривая вопросы биологического управления, необходимо также остановиться на использовании в качестве управляющих сигналов биопотенциалов сердца. Еще в 1955 г. Иэд и Грэм создали устройство, в котором комплекс зубцов электрокардиограммы управляет стимулятором с заданной задержкой в диапазоне 30—3000 миллисекунд (что необходимо для исследования условий возникновения экстрасистол в сердце млекопитающих). Советские ученые В. С. Гурфинкель, М. А. Цетлин и др. применили зубец R электрокардиограммы для включения рентгеновского аппарата при съемке сердца в точно определенные фазы сердечного цикла. На базе этих работ в последующем был создан ныне серийно выпускаемый фазорентгенокардиограф ФРК-61. Большой комплекс исследовательских и конструкторских работ по применению электрокардиограммы для целей автоматического включения различных технических систем был проведен А. М. Медеяновским. В числе этих устройств оказались аппараты для фазового изучения возбудимости сердца, иссечения участка сердечной мышцы в заданную фазу сердечного цикла для последующих био-гистохимического и автордиографического исследований, фазовой векторкардиографии, фазового управления кровообращением, включения кардиотерапевтических воздействий в заданную фазу дыхательного цикла.

Примером использования предсердного зубца Р электрокардиограммы как управляющей информации является система искусственного регулирования ритма желудочков. При перерыве естественной проводящей связи предсердий с желудочками (так называемая поперечная блокада сердца) предсердия и желудочки работают в совершенно независимом ритме — предсердия с нормальной частотой, а желудочки со значительно более медленной. В таких случаях с помощью полупроводникового усилителя потенциал предсердия (зубец Р) усиливался до 500 мВ и подавался на электроды, приложенные к стенке

желудочков. Желудочки начинали сокращаться с тем же ритмом, что и предсердия! В проведенных первоначально опытах на животных вся аппаратура, включая источники питания, размещалась на спине собаки. В дальнейшем способ был доведен до возможности практического применения его у больных. Советские ученые предложили осуществлять и временную задержку импульсов, поступающих от предсердий к желудочкам (что более физиологично, так как во время систолы предсердий требуется известный срок для перехода крови из предсердий в желудочки).

Следует отметить, что электронный атриовентрикулярный (предсердно-желудочковый) мостик является одновременно и устройством биоэлектрического управления и биостимулятором. Здесь управляющий стимул вырабатывается самим физиологическим объектом, а не внешним устройством. Такой метод можно назвать автостимуляцией. Другими ее примерами являются упомянутые выше системы для регулирования уровня артериального давления или наркозный аппарат, дозирующий подачу наркотического газа в зависимости от изменений электроэнцефалограммы, характерных для различных стадий наркоза.

В заключение для иллюстрации широких возможностей применения принципов биологического управления в самых разнообразных областях мы упомянем о системе «сигнализации о потере оператором бдительности». Эта система основана на измерении электрического сопротивления кожной поверхности ладони. Оно резко увеличивается (в 3 раза!) при высокой температуре тела, во сне или в нетрезвом состоянии. В баранку руля или в другой орган управления вмонтировано два электрода для измерения сопротивления кожи. Его увеличение или разрыв измерительной цепи включают вначале световую сигнализацию, а через 5 секунд и резкий звуковой сигнал, будоражащий водителя. Подобные устройства могут оказаться полезными во многих областях жизни: для охраны труда, на различных видах транспорта, во врачебном контроле, в исследовательской работе и т. д.

Космическая медицина помогает решать земные проблемы



Полет человека в космос, впервые осуществленный Страной Советов, стал эпохальным событием века и истории. Безусловно, начало овладения космическим пространством является одним из самых захватывающих достижений современной науки и техники. В этой области, как ни в какой другой, успех дела, безопасность и результаты полета зависят от тесного сотрудничества врачей и инженеров. Возможность следить за состоянием космонавта, находящегося на огромном расстоянии от пункта наблюдения в корабле, который со скоростью около 8 км в секунду вращается вокруг земли, — это ли не триумф медицинской электроники и биотелеметрии! Однако, восхищаясь мастерством и мужеством наших космонавтов, не все представляют себе, что в процессе подготовки и проведения космических полетов решается большое число проблем, имеющих самое прямое отношение к практике здравоохранения, к задачам клиники, к физиологии труда и др. Дело в том, что методы исследований, аппаратура и системы контроля в космосе — это в основном модифицированные, приспособленные к новым условиям «земные решения», что все специфические, новые приемы и приборы, прежде чем выйти в космос, проходят многократные, кропотливые испытания на земле, в том числе в клинической практике. Правда, некоторые из методов, разработанные специально для физиологических исследований в космосе, берутся на вооружение клиницистами уже после их проверки на борту корабля. Так было, например, с *сейсмокардиографией* — новым методом исследования сократительной функции сердца. Этот способ впервые испытали на животных во время полета 3-го советского корабля-спутника, а затем применили для контроля за состоянием летчиков-космонавтов, Героев Советского Союза В. Ф. Быковского и В. В. Николаевой-Терешковой.

Сейсмокардиография обладает ценным преимуществом перед многими другими методиками. Здесь датчик для исследований не нужно плотно прижимать к коже, подобно электродам для записи электрокардиограммы или микрофону для регистрации тонов сердца. Достаточно вложить его в нагрудный

карман космонавта, чтобы обеспечить получение четких записей сердечной деятельности.

Принцип действия датчика и его устройство таковы. В металлическом корпусе размером меньше спичечной коробки располагаются индукционная катушка и маленький магнит на плоской пружине. Магнит и пружина образуют сейсмическую систему, частота колебаний которой зависит от упругости пружины и массы магнита. Обычно эта частота находится в пределах 20—30 герц или выше; есть также масляный или пенопластовый демпфер. Колебания сейсмической массы — магнита — вызывают появление в катушке индукционного тока, который регистрируется с помощью усилителя.

Находясь на груди спокойно сидящего человека, датчик все время подвергается микровибрациям, обусловленным деятельностью сердца. И хотя амплитуда колебаний грудной стенки едва достигает нескольких десятков микрон, чувствительность индукционно-магнитной системы такова, что она регистрирует четкие циклы затухающих колебаний сейсмической массы датчика, соответствующие моментам выброса крови желудочками в аорту (систола) и наполнению их кровью (диастола). Конечно, если человек двигается, то датчик регистрирует его двигательную активность, так как при этом возникают колебания, намного превышающие амплитуду микровибраций сердечного происхождения. В результате сейсмокардиографических исследований в полете было установлено, что продолжительность многих колебательных циклов и соотношение их амплитуд при многосуточном действии невесомости увеличиваются. Для того чтобы лучше понять причину этих изменений, были проведены клинические исследования с использованием сейсмокардиографии. Результаты вначале несколько озадачили. Оказалось, что изменения, аналогичные полученным в космосе, наблюдаются у... больных со склеротическим процессом в миокарде, с комбинированным митральным пороком сердца, с гипертонической болезнью!

Этот парадоксальный факт находит свое объяснение в том, что в условиях невесомости нагрузка на мышечный аппарат космонавта резко падает и требования к обмену веществ и работе сердца также снижаются. Кроме того, в невесомости сердцу легче работать, там кровь (как и все тело) «ничего не весит». Облегчение деятельности сердечной мышцы сразу сказывается на координированности сокращения ее правого и левого отделов. Если в земных условиях оптимальное функционирование достигается путем высокой синхронизации сокращений левого и правого отделов, то «снижение требований» к сердцу есть одновременно снижение требований к синхронизации сокращений. Сердце довольно быстро приспосабливается к новым обстоятельствам и начинает работать более экономично, не растрачивая силу «на лишнюю работу».

Иное дело больные — у них десинхронизация является ре-

зультатом заболевания, которое создает неравномерную нагрузку для правого и левого желудочков. Этот и ряд других факторов обуславливают удлинение колебательных циклов сейсмокардиограммы подобно тому, как это имеет место в космическом полете. Надо отметить, что если у космонавтов наблюдается урежение сердечного ритма до 50—60 ударов в 1 мин, то, у больных обычно средняя частота пульса достигает 75—90 ударов в 1 мин.

Мы довольно подробно изложили историю клинического использования сейсмокардиографии для того, чтобы показать, как в результате сотрудничества космической медицины и клиники не только происходит внедрение новых методов и приборов в лечебную практику, но и углубляется наше понимание сущности патологических процессов и особенностей реакций здорового человека.

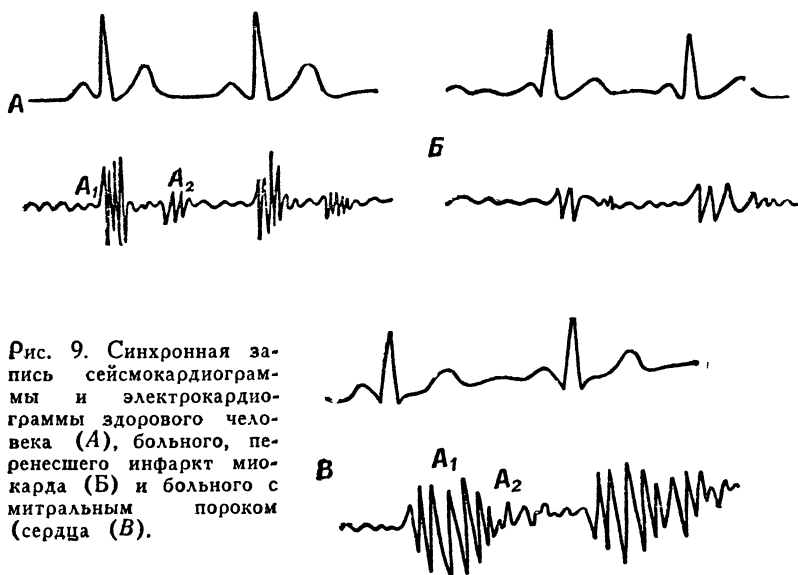


Рис. 9. Синхронная запись сейсмокардиограммы и электрокардиограммы здорового человека (А), больного, перенесшего инфаркт миокарда (Б) и больного с митральным пороком (В).

Необходимость детального изучения «состояния здоровья здоровых» уже давно была ясна специалистам по физиологии спорта и физиологии труда. Они совершенно справедливо считали и считают, что вопросы профилактики заболеваний должны исходить не столько из представлений о признаках, характеризующих те или иные недуги, сколько из данных о пределах нормальных вариаций физиологических функций. К сожалению, еще в недавнем прошлом вопросам физиологии здорового человека уделялось меньше внимания, чем изучению различных болезней. Это, правда, было отчасти связано с отсутствием соответствующих точных методов и приборов, которые могли бы улавливать и анализировать небольшие отклонения функ-

дий. Например, уже давно известно, что существует так называемая дыхательная аритмия сердца — учащение пульса на вдохе и урежение на выдохе. Однако клиницисты занимались главным образом более резкими нарушениями ритма — экстрасистолией, блокадой проводящей системы, мерцательной аритмией и т. д. Полеты в космос показали, что в условиях невесомости наблюдается усиление дыхательной аритмии, что потребовало специального изучения этого вопроса. Тогда с помощью вычислительных машин началось исследование ритмов сердца здоровых людей в состоянии покоя, работы, эмоционального напряжения. Оказалось, что по степени аритмии и некоторым другим математическим характеристикам пульса можно хорошо определять состояние напряженности организма, нарушения нервной регуляции сердца и ухудшение приспособительной способности отдельных систем. Наблюдения за больными так же были весьма эффективными, позволив уточнить роль сердечных и внесердечных факторов в приспособлении кровообращения к новым условиям, вызванным болезнью.

Проблема отбора и подготовки космонавтов потребовала расширения исследований и на больных и на здоровых людях. Как ответить на вопрос: годитесь ли Вы в космонавты? Если Вы ничем не болели, чувствуете себя здоровым, хорошо бегаєте или даже являетесь рекордсменом в любимом виде спорта — это еще вовсе не означает, что Вы готовы к полету. Космонавту необходимы не только физическая тренированность и эмоциональная устойчивость, но, пожалуй, большее значение имеет способность организма быстро адаптироваться (приспосабливаться) к необычным условиям внешней среды.

Взять, к примеру, нас с Вами. Мы — здоровые люди и обычно не чувствуем перепадов атмосферного давления или изменений солнечной активности. А вот больные с хроническим ревматизмом являются своеобразными «барометрами» — у них начинают «ныть» суставы при сдвигах атмосферного давления, предшествующих перемене погоды. Изменения солнечной активности существенно сказываются на состоянии больных гипертонической болезнью и т. п.

В космосе человек встречается с огромным количеством новых для него факторов. Здесь и перегрузки, и вибрация, и изоляция в кабине корабля, и гипокинезия (уменьшение подвижности), и искусственная атмосфера кабины, и более резко влияние радиационных воздействий, и один из главных факторов — невесомость.

С одной стороны, невесомость, вроде бы, благоприятна для человеческого организма. С ее «помощью» снижаются энерготраты, уменьшается нагрузка на сердце, облегчается мышечная деятельность. Казалось бы, налицо почти идеальные условия для больных с декомпенсированными пороками сердца и постинфарктными состояниями. Итак, новый лечебный фактор?!

Но при более тщательном изучении выяснилось, что длительность действия невесомости изменяет минеральный обмен, в частности вызывает снижение содержания кальция в костях, изменяет количество и состав крови, разлагивает деятельность эндокринного аппарата. Все это результат неприспособленности нашего организма к необычным условиям существования. В течение миллионов лет эволюции все земные существа приспособились к определенным физическим условиям жизни на Земле. Это отразилось и на возникновении биологических ритмов и на синхронизации многих функций. В невесомости возникают десинхронизация, разноречивая между отдельными системами. Сейчас это состояние тщательно изучается путем моделирования некоторых условий невесомости длительным постельным режимом и полной «обездвиженностью» (гипокинезия).

Что же практически могут получить клиника и здравоохранение от развития космической медицины и космической техники? Прежде всего новые методы, новые датчики и приборы. Уже сейчас советскими учеными проведен большой объем клинико-физиологических исследований с использованием сейсмокардиограммы, методов математического анализа сердечного ритма, методики регистрации координат движений при письме (впервые эта методика использовалась на космическом корабле «Восход»). Для космических кораблей созданы миниатюрные датчики, надежные и малогабаритные приборы на полупроводниках, различные устройства для телеметрической регистрации. Все это становится и достоянием клиник, входит в широкую медицинскую практику. Особенно перспективны для здравоохранения работы в области бортовых вычислительных устройств. Во время полета существенное значение имеет оперативная, быстрая оценка состояния космонавта. При обычной регистрации различных показателей в виде кривых требуется определенное время на обработку и анализ данных. Поэтому автоматизация оценки состояния человека в космосе представляет не только громадный научный интерес, но и имеет практическое значение для обеспечения безопасности полета. Система автоматической обработки данных может быть установлена как на борту корабля, так и на земле. Она должна накапливать информацию в течение определенного интервала времени и обрабатывать ее по заданной программе. Ей надлежит сравнивать полученные данные с известными нормальными пределами, устанавливать принадлежность полученных результатов к классу нормальных или патологических явлений и, наконец, оценивать состояние космонавта по совокупности отклонений от нормы различных показателей. Так как по мере увеличения продолжительности и дальности полетов возможности передачи информации с борта корабля на землю уменьшаются, то наиболее перспективной является разработка бортовых вычислительных систем для обеспечения

автоматической оценки состояния космонавтов. Бортовые системы могут играть важную роль в решении проблемы «сжатия» информации для передачи на землю по телеметрическим каналам с малой пропускной способностью. При этом вместо различных кривых в телеметрический канал будут вводиться цифровые данные — результат обработки записей бортовой вычислительной машиной. В более отдаленном будущем такие машины смогут управлять «климатом» кабины и различными техническими устройствами на основе учета состояния космонавтов (биоправление). Понятно, что работа в области бортовых вычислительных устройств имеет громадное общемедицинское значение. Решение этой проблемы будет означать и облегчение контроля за тяжелобольными, и наблюдение за состоянием оперируемых, за работниками опасных производств и т. д.

Ряд исследований в области космической биологии и медицины оказывает определенное влияние на развитие техники для целей здравоохранения. Вот только один пример. Создание систем жизнеобеспечения для космических кораблей, в которых длительное время должны поддерживаться заданные климатические условия (температура, влажность, газовый состав воздуха), несомненно, перекликается с работами по биотрону. Биотрон — это комплекс сооружений, позволяющих в специальных герметических палатах воспроизводить неизменный оптимальный микроклимат. При этом устраняются отрицательные перепады барометрического давления, колебания температуры и влажности; обеспечивается необходимая ионизация воздуха и может быть увеличено количество кислорода. Опыт киевских ученых и врачей, в течение нескольких лет работающих с биотроном, свидетельствует о том, что лечение в биотроне замедляет развитие гипертонической болезни и других нейрососудистых расстройств, восстанавливает трудоспособность. Дальнейшие успехи этого интересного и ценного начинания в изыскании новых методов лечения, безусловно, будут связаны и с использованием достижений космической медицины.

Таким образом, космическая биология и медицина, занимаясь вопросами обеспечения жизни и деятельности здорового человека в условиях необычной среды, не только оказывают определенное влияние на решение некоторых проблем «земной» медицины, но уже сделали ряд ценных вкладов в практику здравоохранения.

Надо отметить еще одно важное обстоятельство. А именно, — расширение наших знаний о человеке, пределах его возможностей, механизмах адаптации организма к непривычным факторам. Эти знания помогут нам не только лучше распознавать и диагностировать болезни, лучше их лечить, но, главное — предупреждать заболевания, активно бороться с человеческими недугами,

Заключение



этой книге описана лишь незначительная часть разнообразных применений техники в современной медицине. Для изложения всего, что делается в этой области, не хватило бы и нескольких томов. Важно, чтобы у читателя осталось такое впечатление, будто он ступил на уходящую в даль дорогу, увидел необозримые горизонты новых направлений в медицине и почувствовал, что революционные преобразования здравоохранения, еще большее приближение их к нуждам народа, — это дела сегодняшнего дня.

Если попытаться заглянуть в завтрашний день медицины, то, помимо новых приборов и методов, мы, вероятно, увидим и новую организацию обследований населения и диагностического процесса в клинике. Вычислительные машины станут ближайшими помощниками врача, и алгоритмы диагностики, возможно, займут в практической деятельности медиков такое же место, как в настоящее время истории болезни, консультации специалистов, анализы и рецепты.

Одной из наиболее актуальных задач современной медицины является безотлагательная и качественная обработка записей, получаемых при инструментальных исследованиях. Быстрый рост числа диагностических приборов в клиниках и больницах требует не только такого же быстрого увеличения обслуживающего персонала (в основном лаборантов), но и существенно затрудняет работу врача, так как он не успевает как следует обдумать и проанализировать каждую кривую. Тут может «выручить» медицинский диагностический центр, который в очень короткий срок обработает записи, полученные у сотен и тысяч больных, и результаты анализа выдаст либо в цифровом виде, либо в виде готовых заключений. Особенно ценными окажутся заключения, которые удастся получать автоматически при одновременном вводе в машину записей, добытых при инструментальных исследованиях, и некоторых результатов клинического обследования больного.

Уже сейчас существуют достаточно эффективные диагностические алгоритмы, которые при массовом применении могли бы принести большую пользу. Но массовое использование машинной диагностики приведет также к ускоренному самообучению диагностической системы, что позволит со временем значительно улучшить алгоритмы и, возможно, повысить качество диагностики при одновременном уменьшении «объема вводимых

сведений». Это весьма перспективный путь: получение максимума информации из минимального числа данных. Рационализация обследования больного может быть осуществлена на основе использования кибернетики. Огромная память диагностической системы позволит быстро найти соответствующие клинические прецеденты, а вычислительное устройство выдаст вероятностные оценки разных вариантов диагноза и разных способов лечения. Важную роль будет также играть машинный выбор последовательности диагностических процедур.

Быстродействие диагностической системы создает предпосылки для проведения массовых профилактических исследований населения с созданием индивидуального «медицинского паспорта» на каждого из граждан. Такой медицинский паспорт будет содержать основные показатели (физиологические, биохимические, физические и др.), характеризующие текущее состояние здоровья, и в процессе очередного обследования будут сравниваться как с результатами предыдущего, так и с нормализованными возрастными характеристиками, содержащимися в памяти диагностической системы. Не исключена возможность, что ряд профилактических инструментальных исследований целесообразно будет проводить с непосредственным вводом информации в вычислительное устройство.

Весьма существенной для дела здравоохранения может оказаться централизованная обработка показателей работы всех лечебно-профилактических учреждений данного района. Машина может быстро учитывать распределение больных по профильным клиникам, динамику структуры заболеваемости, изменение потребности отдельных учреждений в лечебных препаратах и т. д. Кроме того, эти данные, а также материалы профилактических массовых обследований, сопоставленные с метеорологическими, производственными, экономическими показателями, позволят поднять на высокий научный уровень планирование мероприятий по охране здоровья населения и быстро принимать медицинские решения, имеющие общенародное значение.

Создание медицинских диагностических центров вполне реально. Зародыши их уже имеются сегодня в Москве, Ленинграде, Киеве в виде диагностических информационных систем в различных клиниках и институтах. Большая работа предстоит по вопросам организации ввода информации, разработке алгоритмов и унифицированию документации.

Будущее медицинской техники представляется нам в большей степени связанным с профилактикой заболеваний, здравоохранением в самом широком смысле, нежели с клинической диагностикой и лечебным процессом. Основной принцип советской медицины состоит в предупреждении болезней. Наше общество активно «вмешивается» в дело обеспечения здоровья каждого советского гражданина. И тут нам хороший помощник—техника. Она вооружает медицину действенным оружием:

разнообразные и многочисленные аппараты и приборы позволяют быстро получать сведения о самых скрытых процессах, происходящих в организме человека. Эти данные могут автоматически фиксироваться на фотопленке, магнитной ленте или перфокартах и тщательно анализироваться с помощью вычислительных машин.

Однако любое широкое использование самой разнообразной вычислительной техники, новых приборов, датчиков, регистраторов и автоматических систем врачебного контроля никогда не заменит врача-человека, ибо любая техника — это только инструмент в его руках. Сердечное, задушевное слово врача, его забота о пациенте, опыт и знания были и останутся важнейшим фактором исцеления и предупреждения недугов в арсенале медицинской науки, а грандиозные успехи техники помогут еще лучше, еще целенаправленнее использовать талант и мастерство врача на благо нашего советского народа.

О ЧЕМ РАССКАЗЫВАЕТСЯ В ЭТОЙ КНИГЕ

3	. . .	Введение
6	. . .	Нужны ли врачам математика и электроника?
16	. . .	Успехи медицинской электроники. Соревнование между ухом врача и микрофоном
29	. . .	Биотелеметрия. Что это такое?
36	. . .	Диагноз помогает ставить машина
49	. . .	Медицинская техника и хирургия
57	. . .	Радиоэлектронные «микстуры»
64	. . .	Автоматические приборы и биоуправление в медицине
71	. . .	Космическая медицина помогает решать земные проблемы
7	. . .	Заключение

Василий Васильевич ПАРИН
Роман Маркович БАЕВСКИЙ

МЕДИЦИНА И ТЕХНИКА

Редактор М. И. СОГОЛОВ
Художественный редактор Е. Е. СОКОЛОВ
Технический редактор Е. М. ЛОПУХОВА
Корректор Н. Д. МЕЛЕШКИНА
Обложка Н. Д. ВАСИЛЬЕВА

А 03016. Сдано в набор 15/IV 1968 г. Подписано к печати 29/V 1968 г.
Формат бумаги 60×90/16. Бумага типографская № 3. Бум. л. 2,5.
Печ. л. 5,0. Уч.-изд. л. 4,77. Тираж 60 000 экз. Издательство «Знание».
Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4. Заказ 1250. Типография изд-ва
«Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.
Цена 15 коп.

УВАЖАЕМЫЙ ЧИТАТЕЛИ

ЕСЛИ ВЫ СЛЕДИТЕ ЗА УСПЕХОМ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА В НАШЕЙ СТРАНЕ, ЕСЛИ ХОТИТЕ ЗНАТЬ О ТОМ, КАКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕШАЮТСЯ УЧЕНЫМИ, РАБОТАЮЩИМИ В ОБЛАСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, КОНСТРУКТОРАМИ, ИЗОБРЕТАТЕЛЯМИ, ПРОИЗВОДСТВЕННИКАМИ, ПОДПИСЫВАЙТЕСЬ НА СЕРИЮ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫХ БРОШЮР

«ТЕХНИКА»!

АРТОБОЛЕВСКИЙ И. И. акад., ШУХАРДИН С. В. *ПАРТИЯ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС.*
АЛФЕРОВ А. В. *РАБОЧЕЕ МЕСТО КОНСТРУКТОРА.*
МАЛЕВАНЧИК Б. С. *ГЭС — АККУМУЛЯТОР.*
ПАТРУНОВ Ф. Г., ЧИРКОВ Н. Т. *АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ.*

Вот те работы, которые предложит серия «Техника» своим читателям во втором полугодии 1968 г.

А всего в год выходит 12 работ.

Подписка на эту серию проводится как на газеты или журналы в любом отделении «Союзпечати».

В каталоге вы найдете эту серию в разделе «Научно-популярные журналы» под рубрикой «Брошюры издательства «Знание».

Стоимость подписки на квартал — 27 коп.

**ПОДПИСЫВАЙТЕСЬ НА СЕРИЮ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫХ БРОШЮР
«ТЕХНИКА»!**

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»