

Электрокардиография за 100 лет: история и будущее.

Paul A. Friedman

Источник: *Circulation*. 2024;149:411–413

ЭКГ представляет собой совокупную запись на поверхности тела электрической активности сердца, генерируемой потенциалами действия миллионов кардиомиоцитов. В отличие от нейронов кардиомиоциты соединены в синцитий, в котором активация одной клетки активирует соседние клетки, что приводит к распространению волны координированной генерации электрического импульса. На клеточном уровне отдельные миоциты генерируют потенциалы действия посредством тщательно регулируемой активности мембранных каналов, часто ион-специфичных, которые создают токи, которые распространяются от клетки к клетке через поры, образованные специфическими белками. Множественные, сложные, гомеостатические механизмы, участвующие в создании ЭКГ, позволяют ей служить уникальным идентификационным отпечатком пальца для каждого человека, действовать как ранний детектор заболеваний и потенциально перевернуть с ног на голову медицинский скрининг и дистанционный мониторинг. Силу этого теста едва ли можно было себе представить, когда он был впервые создан на рубеже XX-го века.

С конца 1800-х годов было признано, что бьющееся сердце производит электрические токи. Однако доступные инструменты, такие как капиллярный электрометр, использованный Уоллером, не обладали чувствительностью для адекватного разрешения электрических сигналов милливольтового уровня. Эйнтховен, голландский врач и физиолог, задумал использовать струнный гальванометр, в котором наличие тока отклоняет нить, расположенную между магнитами, для изобретения первой практической ЭКГ в 1903 году, за что он позже был удостоен Нобелевской премии. Он распознал особенности сигнала и присвоил им названия, используемые до сих пор: зубец Р, комплекс QRS и зубец Т. ЭКГ предоставила возможность объективно измерить и диагностировать болезни сердца, не ограничиваясь признаками и симптомами, и в конечном итоге привела к рождению новой области: кардиологии.

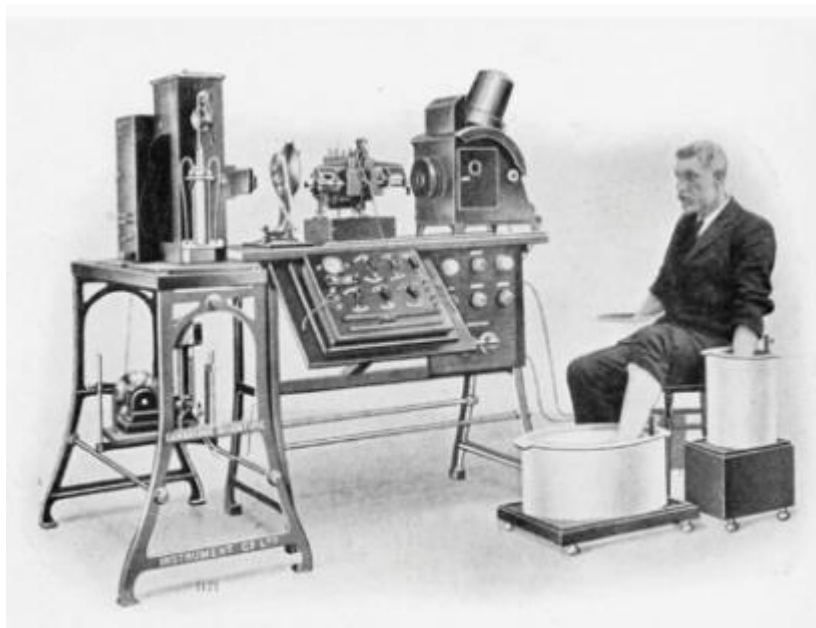


Рис .1. Регистрация ЭКГ в 1904 г.

В последующие десятилетия все большее число наблюдений связывало характеристики электрокардиографического сигнала, названные человеком, с сердечными и несердечными заболеваниями, включая ишемию, аритмии, нарушения электролитного баланса, заболевания печени и др., с различиями в чувствительности и специфичности

для каждого заболевания, отчасти из-за различий в чувствительности и специфичности каждого заболевания. С развитием нюансов и сложности этих наблюдений область электрокардиографии, а вместе с ней и кардиологии, расширилась. ЭКГ стала центральной в диагностике таких критических состояний, как острый инфаркт миокарда, фибрилляция предсердий (ФП) и желудочковая тахикардия. По мере развития кардиологии и внедрения новых технологий, таких как эхокардиография, развивалось более глубокое понимание взаимосвязей между особенностями электрокардиографического сигнала и структурными аномалиями (например, гипертрофией, поражением клапанов), а также сильные стороны и ограничения этих особенностей электрокардиографического сигнала для диагностики.

Описано все большее число электрокардиографических критериев и правил, определяемых эмпирическими связями между ЭКГ и болезненными состояниями, которые практикующий врач должен помнить для выявления заболевания. В 1970-х годах эти основанные на функциях правила были закодированы в электрокардиографические машины для создания диагностических отчетов в качестве клинической помощи. Хотя существуют споры о точности и надежности этих специализированных систем электрокардиографического считывания, они представляли собой вершину компьютеризированных считываний до тех пор, пока не были разработаны недавние подходы на основе машинного обучения, которые теперь готовы изменить клиническое мастерство ЭКГ и клинических рабочих процессов.

Машинное обучение использовалось для обучения глубоких нейронных сетей — серии математических уравнений, созданных для имитации коры головного мозга человека, где каждый нейрон представлен нелинейным уравнением, которое, как и нейрон, может «разряжаться» в соответствии с входными данными. Большие базы данных позволяют использовать обученные сети, которые идентифицируют тонкие нелинейные электрокардиографические закономерности, возможно, в безмянных электрокардиографических сегментах, не используемых в традиционном анализе признаков, что обеспечивает три широкие возможности: (1) выполнение задач, которые выполняют люди, например, классификация ритмов, но в больших масштабах; (2) превышение человеческих возможностей путем выявления состояний (например, желудочковой дисфункции), которые не могут быть достоверно распознаны экспертами, и (3) выявления лиц с высоким риском развития заболеваний, еще не обнаруженных с помощью стандартных тестов.

Механизм, с помощью которого ЭКГ с искусственным интеллектом (ИИ) выполняет эти прогностические задачи, не подтвержден, но, вероятно, отражает влияние заболевания на ионные каналы, что приводит к тонким электрокардиографическим изменениям, которые предшествуют отклонениям, выявляемым с помощью визуализирующих исследований, таких как эхокардиография. Давно известно, что ишемия на ЭКГ предшествует эхокардиографическим нарушениям движения стенки.

ЭКГ с искусственным интеллектом были разработаны для эффективного выявления дисфункции левого желудочка, наличия ФП по электрокардиографической записи при синусовом ритме, аортального стеноза, легочной гипертензии, цирроза печени, гипертрофической кардиомиопатии и гиперкалиемии. Поскольку ИИ-ЭКГ основана на программном обеспечении, она была быстро и недорого протестирована в клинических рабочих процессах. В исследовании EAGLE (скрининг низкой фракции выброса под контролем ЭКГ) 22 640 взрослых были включены в течение ≈8 месяцев во время пандемии с использованием кластерной рандомизированной схемы. В группе вмешательства, когда практикующие врачи первичной медико-санитарной помощи заказывали рутинную ЭКГ, результаты анализа ИИ представлялись врачам; в контрольной группе результаты не разглашались. Наличие результатов электрокардиографии ИИ увеличило частоту новых диагнозов дисфункции левого желудочка на одну треть. Самая высокая практика лицензирования была отмечена тем, что практикующие медсестры и ассистенты врачей в два раза чаще следовали рекомендациям ИИ и, таким образом, ставили диагноз, признавая, что их случаи были менее сложными.

Чтобы проверить, будет ли ЭКГ с носимого устройства, собранной в немедицинской среде, достаточной для анализа ИИ, Аттиа и др. работающие в Центре цифрового здравоохранения клиники Майо, создали приложение, позволяющее собирать

электрокардиографические записи Apple Watch и переобучил сеть из 12 отведений для классификации ЭКГ на часах. Один координатор исследования, работающий неполный рабочий день, зарегистрировал в цифровом формате 2544 субъекта из 46 штатов и 11 стран и передал >125 000 ЭКГ примерно за 6 месяцев. На ЭКГ часов была выявлена дисфункция левого желудочка с площадью под кривой 0,89 (рис. 2)

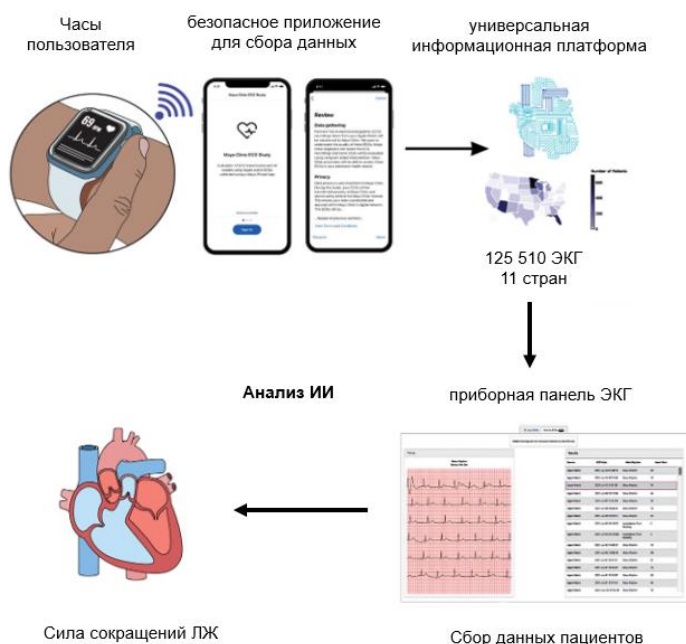


Рис. 2. Эволюция ЭКГ. ИИ – искусственный интеллект.

Ранее полученные и сохраненные цифровые ЭКГ также использовались для выявления заболеваний у людей, о которых не было известно, что они у них есть. В исследовании BEAGLE приняли участие 669 032 пациента с неизвестной ФП и повышенным показателем риска инсульта по шкале CHADSVASC с зарегистрированными в прошлом ЭКГ (1 января 2017 г. – 30 июня 2017 г.). В 2021 г. они прошли компьютерный скрининг с использованием электрокардиографического алгоритма искусственного интеллекта для выявления ФП по электрокардиографической записи во время синусового ритма и были приглашены принять участие в исследовании, которое включало использование портативного монитора в течение месяца. У пациентов с положительной ИИ-ЭКГ при бессимптомной ФП вероятность обнаружения ФП через 1 месяц увеличивалась в 5 раз. Также было показано, что ИИ-ЭКГ отражает терапевтический эффект препарата. Тисон и соавт. продемонстрировали, что ИИ эффективно выявляет гипертрофическую кардиомиопатию, а ЭКГ-параметры тесно связаны с уровнем градиента выходного отдела левого желудочка и концентрацией NT-proBNP (N-концевого натрийуретического пептида про-В-типа).

Таким образом, ЭКГ превратилась из примитивного метода обнаружения электрической активности сердца в сложный тест для обнаружения скрытых заболеваний, прогнозирования сопутствующих заболеваний и мониторинга терапевтического эффекта. Он стал недорогим, повсеместным, интегрированным в клинические рабочие процессы и доступным в немедицинской среде. Его роль как мощного инструмента в карманах врачей будет продолжать расти даже через 100 лет.