

Опыт унификации исследований ЭКГ покоя с использованием облачной технологии для их автоматической интерпретации и хранения в многопрофильной больнице

М. Ф. Баллюзек, д.м.н., проф., зам. гл. врача по медицинской части
Д. В. Бугагин, зав. отделением функциональной диагностики
Н. Н. Морозова, врач-кардиолог

ФБГУЗ Санкт-Петербургская клиническая больница Российской академии наук, г. Санкт-Петербург

The experience of unification studies ECG using cloud technology to automatically interpret and store in the General hospital

M. F. Ballyuzek, D. V. Bugagin, N. N. Morozova

Резюме

На материале исходной базы объемом 9 114 исследований ЭКГ, выполненных за полтора года эксплуатации новых российских 12-канальных телеэлектрокардиографов в многопрофильном стационаре, проведена оценка достоверности автоматических интерпретационных заключений. Съем ЭКГ осуществлялся во всех стационарных отделениях СПб больницы РАН и в дневном стационаре, при необходимости непосредственно у постели больного. Эффективность использования комплекса в том, что данные снятых ЭКГ могут архивироваться в цифровом виде, помещены в информационную систему и доступны в электронной истории болезни и амбулаторной карте пациента. Кроме того, они доступны для санкционированного просмотра по локальной сети в онлайн режиме врачом-специалистом кардиологом и (или) врачом функциональной диагностики или даже консилиумом врачей, каждый из которых может находиться на своем рабочем месте.

Получено подтверждение, что показатели точности автоматического формирования текстовых интерпретационных заключений соответствуют уровню заключения специалиста высокой квалификации.

Использование исследованного прибора в многопрофильных больницах позволяет повысить эффективность работы ЭКГ-службы, достоверность результатов исследования ЭКГ в покое и качество медицинской услуги, а также производительность труда медицинских специалистов.

Ключевые слова: облачная автоматическая обработка и хранение ЭКГ в стационаре, интерпретационное заключение ЭКГ покоя.

Summary

The data base includes 9 114 electrocardiograms (ECG) received in the multi-field hospital during 18 months of ECG tracing with the help of 12-lead tele-electrocardiograph with cloud-based processing and ECG storage. We have analyzed the accuracy of the automatic interpretation conclusions of this device. The ECG was carried out both in 'in-patient' and in 'day-patient' departments of the Saint-Petersburg Clinical Hospital of the Russian Academy of Sciences (at the bed side if it was needed). The efficacy of the device usage consists in the digital storage of the ECG results, the latter can be allocated in the informational system and can be accessible in the electronic hospital chart and out-patient medical record. Besides the data are open to the authorized on-line revision in the local system by the cardiologist or functional diagnostics expert or by the multidisciplinary case management team each member of which staying at the place of work. We have demonstrated that the obtained indices of the accuracy of the automatic text conclusion formation correspond to the standards of the high quality specialist.

The usage of the tested unit in the multi-field hospitals allows to enhance the efficacy of ECG-department functioning, the accuracy of the ECG-at-rest results analysis, the efficiency of the health care services and also the efficiency of labour of medical professionals.

Key words: cloud-based processing and banking of ECG in the hospital, the interpretative conclusion of the ECG-at-rest.

Введение

Изобретенный в начале прошлого века, метод ЭКГ неустанно методически развивается и его последние усовершенствования связаны с появлением новых информационных технологий. Так, в рекомендациях, разработанных American Heart Association (AHA) в 2004 году [1], основное внимание уделено организации центров телеметрии и выполнению ЭКГ в режиме онлайн.

В Санкт-Петербурге ежегодно регистрируются около двух с половиной миллионов ЭКГ. Не исключением является и СПб больница РАН, где каждому обратившемуся пациенту как минимум однократно проводится исследование ЭКГ в покое, у пациентов

с заболеваниями сердца это исследование выполняется по меньшей мере дважды (при поступлении и выписке), а по показаниям не ограничено в процессе лечения. Кроме того, располагая большим поликлиническим отделением, где регулярно проводятся лечебно-диагностические и профилактические осмотры, а также диспансеризация пациентов, которые в любой момент могут стать и стационарными больными, чрезвычайно важно всегда «под рукой» иметь архив ЭКГ для сравнения.

Ранее ЭКГ регистрировались при помощи обычных электрокардиографов, и, несмотря на возможность оцифровки снятых сигналов для

передачи в медицинскую информационную сеть (МИС), единственным способом представления и хранения диагностической информации являлась бумажная пленка, на которой вручную записывалось интерпретационное заключение. Это связано с тем, что подключать электрокардиограф к Ethernet-разъему после палатного обхода было крайне не эргономично.

Такую организацию ЭКГ-службы в стационаре можно назвать хаотичной. В результате много ресурсов требовалось на описание ЭКГ, на проведение консилиумов и консультаций врачами-функционалистами и кардиологами врачей других специальностей,

а также на содержание огромного бумажного архива, поиски «архивной пленки», не всегда доступной в вечернее и ночное время, что не всегда позволяло проводить динамические исследования.

Ситуация изменилась после того, как в 2014 году больница была оснащена 12-канальными телеэлектрокардиографами (ТЭК) с облачной обработкой и хранением ЭКГ [2]. Они используются по третьей конфигурации съема и обработки ЭКГ [2]. Данный прибор с характеристиками экспертного класса является в настоящее время единственным универсальным средством для повсеместного использования при исследованиях ЭКГ в покое. ТЭК позволяет при помощи компактной аппаратуры с автономным питанием в любом месте больницы снимать ЭКГ, которые автоматически передаются в локальный, а затем в облачный кардиосервер, где они программно обрабатываются и сохраняются. Сами ЭКГ (уже размеченные), а также результаты их обработки возвращаются в место съема и становятся доступными врачам при помощи подключенных к интернету компьютеров, расположенных не только в больнице, но и вне ее стен.

Таким образом, ТЭК обеспечивает съем ЭКГ на всей территории больницы и за ее пределами, их архивацию в отделении функциональной диагностики, где они интерпретируются специалистом и затем транслируются в МИС. Такая организация исследований ЭКГ в покое может считаться унифицированной, благодаря чему количество исследований за год возросло в 10 раз. Однако анализ степени достоверности предоставляемых автоматических ЭКГ-заключений в условиях большого потока исследований в многопрофильной больнице в литературе до сих пор не представлен.

Цель исследования:

Оценить достоверность автоматических интерпретационных заключений ТЭК и степень доверия к ним специалистов на материале исходной базы ЭКГ, собранной в условиях работы приборов в многопрофильной больнице с поликлиникой.

Материал и методы

Исследование проводилось на материале исходной базы объемом 9 114 ЭКГ, выполненных за полтора года эксплуатации ТЭК. Съем ЭКГ осуществлялся в дневном стационаре, отделении функциональной диагностики (ОФД), реанимации и интенсивной терапии, во всех стационарных отделениях СПб больницы РАН (кардиология, хирургия, неврология, терапия, восстановительного лечения), а также как в специально отведенных для съема ЭКГ помещениях, так и непосредственно у постели больного.

Организации исследований ЭКГ покоя в больнице РАН

В больнице ЭКГ покоя регистрируются в ОФД, в отделении кардиологии, при обходе лежачих пациентов в палатах всех отделений и в дневном стационаре. В ОФД в качестве коммуникатора используется стационарный компьютер, в других ситуациях смартфон. Все снятые ЭКГ интерпретируются врачом ОФД на стационарном компьютере, в котором они сохраняются в электронном виде, а кроме этого, загружаются в МИС и присоединяются к истории болезни пациента. Бумажные копии ЭКГ печатаются на лазерном принтере только при необходимости.

В связи с тем, что интерфейс смартфона не обеспечивает возможность детального исследования ЭКГ и формирования врачебного заключения, он предназначен только для ее регистрации. В то же время смартфон позволяет выполнять различные пробы, повторяя записи ЭКГ через заданные промежутки времени.

Все зарегистрированные при помощи смартфона ЭКГ сохраняются в облачном и локальном кардиосерверах, что делает их доступными функционалисту при помощи подключенного к локальному серверу или интернету компьютера. На компьютере с активированным программным обеспечением «Рабочее место врача» во вкладке «типичные кардиоциклы» отображаются типичные комплексы всех 12 отведений, 24-секундная запись II отведения для анализа ритма, автоматически измеренные интервалы, длительности и углы, а также автоматическое заключение. Каждый типичный комплекс с помощью

функции «линза» может быть увеличен и измерен вручную. Вся 24-секундная запись 12 отведений ЭКГ может быть просмотрена во вкладке «графики ЭКГ».

Во вкладке «измерения» представлены автоматически измеренные амплитудно-временные параметры ЭКГ.

Чрезвычайно полезной для динамических исследований является вкладка «ЭКГ в динамике».

Все инструменты программного обеспечения «Рабочее место врача» повышают достоверность и ускоряют формирование врачебной интерпретации.

Эффект, полученный в результате централизации исследований ЭКГ покоя в СПб больнице РАН

Так как СПб больница РАН располагает МИС, хранящей данные о пациентах и персонале, проводившем исследования, то данные снятых ЭКГ архивируются в ней в цифровом виде и становятся доступными в электронной истории болезни и амбулаторной карте пациента. Кроме того, эти данные стали доступны для санкционированного просмотра по локальной сети в онлайн-режиме врачом специалистом-кардиологом и (или) врачом функциональной диагностики или даже консилиумом врачей, каждый из которых может находиться на своем рабочем месте. Это особенно важно в экстренных и трудных случаях, когда врач, не имеющий кардиологической специализации, должен быстро принять правильное решение. При этом каждый участник консилиума может делать свое заключение, пользуясь архивом.

Еще одним немаловажным положительным фактором явилось то, что снятые ЭКГ и их расшифровки попадают в электронную историю болезни и в последующем в выписной эпикриз пациента.

При работе по такому унифицированному принципу с использованием ТЭК очень эффективной оказывается возможность «обратной связи», так как при выявлении патологических изменений на ЭКГ врачу может быть передана срочная информация, в результате чего происходит сокращение времени врачебной интерпретации ЭКГ и принятия соответствующих решений.

Таблица 1
Половозрастной состав пациентов рабочей базы ЭКГ (8863 ЭКГ)

Возрастная группа	Количество ЭКГ мужчин, число /%	Количество ЭКГ женщин, число /%	Общее количество ЭКГ, число /%
Юношеский возраст (менее 25 лет)	99/1,1	159/1,8	258/2,9
Молодой возраст (25–44 года)	750/8,4	1159/13,1	1909/21,5
Средний возраст (45–59 лет)	811/9,2	1529/17,2	2340/26,4
Пожилой возраст (60–74 года)	1041/11,7	1580/17,9	2621/29,6
Старческий возраст (75–89 лет)	647/7,3	1055/11,9	1702/19,2
Долгожители (более 90 лет)	14/0,2	19/0,2	33/0,4
Всего	3362/37,9	5501/62,1	8863/100,0

Таблица 2
Распространенность диагностических категорий при анализе ритма сердца в рабочей базе (8863 ЭКГ)

Диагностическая категория, число /%	Количество ЭКГ	Распространенность диагностической категории, %
Синусовый ритм	8127	91,7
ФП — 388 / 83,9 ТП — 75 / 16,1	463	5,2
Экстрасистолия • наджелудочковые экстрасистолы — 610 / 66,4 • желудочковые экстрасистолы — 277 / 30,2 • их сочетание — 31 / 3,4	918	10,4
АВ-блокада I степени	591	6,7

Примечание: ТП — трепетание предсердий; ФП — фибрилляция предсердий.

Таблица 3
Распространенность диагностических категорий при анализе морфологии в рабочей базе ЭКГ (8863 ЭКГ)

Диагностическая категория, число /%	Количество ЭКГ	Распространенность диагностической категории, %
Очаговые изменения • острая стадия — 4 / 0,7 • подострая стадия — 378 / 64,9 • рубцовая стадия — 200 / 34,4 • передняя стенка — 168 / 28,9 • задняя стенка — 404 / 71,1	582	6,6
НПР • резко выраженное — 108 / 4,0 • выраженное — 334 / 12,2 • умеренное — 853 / 31,3 • слабо выраженное — 1056 / 38,7 • возможное — 376 / 13,8	2727	30,8
ПБПН	233	2,6
ПБЛН	100	1,1
ГЛЖ • выраженная — 470/17,0 • умеренная — 1078/38,9 • возможная — 1220/44,1	2768	31,2
Норма	2657	30,0

Примечание: ГЛЖ — гипертрофия левого желудочка; НПР — нарушения процессов реполяризации; ПБЛН — полная блокада левой ножки пучка Гиса; ПБПН — полная блокада правой ножки пучка Гиса

На данный момент врачи непрофильных отделений, дежурная служба больницы и в первую очередь отделение реанимации и интенсивной терапии имеют возможность квалифицированных консультаций по результатам ЭКГ.

Достоверность облачной автоматической обработки ЭКГ, выполняемой ТЭК

С целью оценки возможной степени доверия специалистов больницы к автоматическим интерпретационным заключениям ТЭК

была исследована их достоверность. Исследование проводилось на материале исходной базы объемом 9114 ЭКГ, которая была собрана в больнице за полтора года эксплуатации приборов.

Оценка количественных показателей достоверности ТЭК — чувствительности, специфичности и положительной прогностической ценности — проводилась в соответствии с методами п. 50.101.3 [3] для основных диагностических категорий. К ним отнесены следующие заключения по ритму сердца:

- синусовый ритм;
- фибрилляция и трепетание предсердий;
- экстрасистолия;
- АВ-блокада I степени.

В качестве основных диагностических категорий при морфологическом анализе были установлены:

- очаговые изменения;
- нарушения процессов реполяризации (НПР);
- полная блокада правой ножки пучка Гиса (ПБПН);
- полная блокада левой ножки пучка Гиса (ПБЛН);
- гипертрофия левого желудочка (ГЛЖ);
- норма.

Из исходной базы данных была сформирована с учетом требований [3] рабочая база объемом 8863 ЭКГ, в которую были включены:

- записи с уровнем шума, не превышающим 75 мкВ и (или) дрейфом изолинии, не превосходящим 1 мВ (п. 50.101.4 [3]);
- ЭКГ пациентов, состояние сердечно-сосудистой системы которых в части ритма сердца было диагностировано высококвалифицированными специалистами (п. 50.102.4.1 [3]);
- ЭКГ пациентов, состояние сердечно-сосудистой системы которых в части морфологии было диагностировано неэлектрокардиографическими методами (п. 50.102.3.1 [3]).

Структура рабочей базы данных объемом 8863 ЭКГ СПб больницы РАН приведена в табл. 1, 2, 3.

Согласно п. 50.102.1 [3], определение количественных показателей точности комплекса чувствительности, специфичности и позитивной прогностической ценности в режиме автоматического интерпретации ЭКГ производится следующим образом. Предполагается, что истинный диагноз для пациента известен («истина»). Интерпретация (классификация) диагноза по ЭКГ называется испытанием. Для описания характеристик испытаний (и соответственно системы автоматической интерпретации ЭКГ) применяют обозначения исходов испытаний, приведенных в табл. 4.

- а) «Норма», правильно классифицированная как «Норма», называется «истинной нормой» (TN);
- б) «Норма», неправильно классифицированная как «Патология», называется «ложной патологией» (FP);
- в) «Патология», неправильно классифицированная как «Норма», называется «ложной нормой» (FN);
- г) «Патология», правильно классифицированная как «Патология», называется «истинной патологией» (TP).

Рассчитывают следующие показатели:

- а) «Чувствительность»: вероятность того, что «истинная патология» будет интерпретирована как «Патология»: $\text{чувствительность} = [TP / (TP + FN)] 100\%$;
- б) «Специфичность»: вероятность того, что «истинная норма» будет интерпретирована как «Норма»: $\text{Специфичность} = [TN / (TN + FP)] 100\%$;
- в) «Позитивная прогностическая ценность» (P*): вероятность того, что классифицированная «Патология» является на самом деле «истинной патологией». $P^* = [TP / (TP + FP)] 100\%$.

Результаты оценки количественных показателей точности ТЭК в режиме автоматической интерпретации ЭКГ приведены в табл. 5 и 6.

Полученные показатели точности автоматического формирования текстовых интерпретационных заключений соответствует уровню специалиста высокой квалификации.

Истинный диагноз	Результаты испытаний	
	Норма	Патология
Норма	TN	FP
Патология	FN	TP

Примечание: FN — ложная норма; FP — ложная патология; TN — истинная норма; TP — истинная патология.

Таблица 5
Результаты автоматической обработки рабочей базы ЭКГ при определении диагностических категорий ритма сердца

Диагностическая категория	Количество ЭКГ	Чувствительность, %	Специфичность, %	Позитивная прогностическая ценность, %
Синусовый ритм	8 127	99,2	80,4	98,2
ФП и ТП	463	93,1	99,4	89,6
Экстрасистолия	918	94,1	98,1	85,1
АВ-блокада I ст.	591	94,2	97,8	75,4

Примечание: ТП — трепетание предсердий; ФП — фибрилляция предсердий.

Таблица 6
Результаты автоматического анализа рабочей базы ЭКГ при определении диагностических категорий морфологии

Диагностическая категория	Количество ЭКГ	Чувствительность, %	Специфичность, %	Позитивная прогностическая ценность, %
Очаговые изменения	582	83,5	98,6	80,7
НПР	2727	79,8	90,5	78,9
ПБПН	233	96,1	99,9	96,1
ПБАН	100	92,0	99,9	91,1
ГЛЖ	2768	74,5	76,3	58,8
Норма	2657	74,7	91,2	78,4

Примечание: ГЛЖ — гипертрофия левого желудочка; НПР — нарушения процессов реполяризации; ПБАН — полная блокада левой ножки пучка Гиса; ПБПН — полная блокада правой ножки пучка Гиса.

Заключение

Полученные значения показателей точности ТЭК с облачной обработкой и хранением ЭКГ [2] в режиме автоматической интерпретации ЭКГ в условиях многопрофильной больницы соответствуют точности интерпретации ЭКГ, выполненной врачом высокой квалификации.

Благодаря высокой точности автоматической интерпретации ЭКГ данного ТЭК его использование в многопрофильных больницах позволяет повысить социально-экономическую эффективность работы ЭКГ-службы: достоверность результатов исследования ЭКГ в покое (качество медицинской услуги), а также производительность труда медицинских специалистов, в обязательном порядке подтверждающих компьютерные заключения.

Как показал опыт эксплуатации ТЭК в отделении реанимации и интенсивной терапии СПб больницы РАН, его мобильность и оперативность получения непосредственно у постели пациента заключения по ЭКГ и рекомендаций удаленного специалиста делают прибор незаменимым в неотложной медицине.

Список литературы

1. Drew B. J., Califf R. M., Funk M et al. Practice Standards for Electrocardiographic Monitoring in Hospital Settings. *Circulation* 2004; 110: 2721–2746.
2. Матус К. М. Медицинский алфавит № 14/2015, том № 3 Неотложная медицина. с. 30–33.
3. GOST IEC 60601–2–51–2011.

