

ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ РАННЕГО ВЫЯВЛЕНИЯ СУБКЛИНИЧЕСКИХ АРИТМОГЕННЫХ СОСТОЯНИЙ У ВОЕННОСЛУЖАЩИХ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЧЕСКОГО СКРИНИНГА И СТРАТИФИКАЦИИ РИСКА ВНЕЗАПНЫХ СЕРДЕЧНЫХ СОБЫТИЙ

М.К. Кадырова

Ташкентский государственный медицинский университет.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20281377>

Аннотация. Субклинические аритмогенные состояния представляют серьёзную проблему современной военной медицины, поскольку ассоциируются с повышенным риском внезапных сердечных событий у практически здоровых военнослужащих. Стандартные методы кардиологического обследования не всегда позволяют своевременно выявлять скрытые электрофизиологические нарушения, особенно у лиц без клинических проявлений.

Использование цифровых электрокардиографических технологий и современных алгоритмов стратификации риска способствует повышению эффективности ранней диагностики сердечно-сосудистых нарушений.

Цель исследования

Оптимизация алгоритмов раннего выявления субклинических аритмогенных состояний у военнослужащих на основе цифрового электрокардиографического скрининга и интегрированной оценки риска внезапных сердечных событий.

Материалы и методы

Проведено проспективное исследование в 2023–2025 гг. на базе Центрального военного клинического госпиталя Министерства обороны Республики Узбекистан совместно с Ташкентский государственный медицинский университет. В исследование включено 314 военнослужащих в возрасте от 19 до 46 лет. Всем обследуемым выполнены цифровая 12-канальная электрокардиография, анализ variability сердечного ритма и комплексное кардиологическое обследование. Оценивались нарушения ритма, изменения интервала QT/QTc, фрагментация комплекса QRS, желудочковая экстрасистолия и показатели автономной регуляции сердечной деятельности. Статистическая обработка результатов проводилась с использованием программы SPSS Statistics 27.0.

Результаты

Субклинические аритмогенные изменения выявлены у 62 (19,7%) обследованных военнослужащих. Наиболее часто регистрировались желудочковые экстрасистолы — у 27 (8,6%) лиц, нарушения процессов реполяризации — у 21 (6,7%), удлинение интервала QTc — у 16 (5,1%), фрагментация комплекса QRS — у 13 (4,1%) обследованных. Снижение показателей variability сердечного ритма выявлено у 58 (18,5%) военнослужащих и достоверно ассоциировалось с повышенным риском аритмогенных осложнений ($p < 0,001$).

Высокий риск внезапных сердечных событий установлен у 41 (13,1%) участников исследования. Разработанный алгоритм цифрового ЭКГ-скрининга продемонстрировал чувствительность 88,9%, специфичность 84,7% и площадь под ROC-кривой 0,89.

Заключение

Цифровой электрокардиографический скрининг в сочетании с интегрированной стратификацией риска обладает высокой диагностической эффективностью при раннем выявлении субклинических аритмогенных состояний у военнослужащих. Применение разработанного алгоритма позволяет повысить качество профилактического кардиологического наблюдения и снизить вероятность развития внезапных сердечных событий в условиях военной службы.

Ключевые слова: цифровая электрокардиография, аритмогенные состояния, военнослужащие, внезапная сердечная смерть, кардиологический скрининг, стратификация риска, субклинические аритмии.

Введение

Сердечно-сосудистые заболевания продолжают оставаться одной из ведущих причин внезапной смертности среди лиц трудоспособного возраста, включая военнослужащих.

Несмотря на обязательные профилактические медицинские осмотры и строгий профессиональный отбор, случаи внезапных сердечных событий в военной среде продолжают регистрироваться и представляют серьезную проблему для системы военного здравоохранения. Особую опасность представляют субклинические аритмогенные состояния, длительное время протекающие бессимптомно и выявляющиеся лишь после развития тяжёлых сердечно-сосудистых осложнений.

В условиях интенсивных физических и психоэмоциональных нагрузок, характерных для военной службы, скрытые электрофизиологические нарушения могут прогрессировать и способствовать возникновению жизнеугрожающих аритмий. Повышенная физическая активность, хронический стресс, нарушения режима сна и экстремальные условия службы оказывают дополнительное влияние на вегетативную регуляцию сердечной деятельности и электрическую стабильность миокарда. Современные исследования свидетельствуют о том, что традиционные методы кардиологического обследования обладают ограниченной чувствительностью в отношении раннего выявления скрытых аритмогенных нарушений.

Во многих случаях стандартная электрокардиография не позволяет своевременно идентифицировать начальные электрофизиологические изменения у практически здоровых лиц. В связи с этим возрастает интерес к применению цифровых технологий электрокардиографического анализа, автоматизированных систем интерпретации данных и алгоритмов стратификации риска внезапных сердечных событий. Цифровая электрокардиография обеспечивает высокую точность регистрации биоэлектрической активности сердца, позволяет проводить автоматизированный анализ параметров ЭКГ и выявлять минимальные нарушения ритма и проводимости. Дополнительную диагностическую ценность представляет анализ вариабельности сердечного ритма, отражающий состояние автономной нервной системы и уровень вегетативного дисбаланса, который рассматривается как один из факторов аритмогенного риска. В последние годы особое внимание уделяется разработке интегрированных моделей прогнозирования внезапных сердечных событий, основанных на сочетании клинических, электрокардиографических и функциональных показателей.

Однако вопросы оптимизации алгоритмов раннего выявления субклинических аритмогенных состояний у военнослужащих остаются недостаточно изученными, особенно в условиях практического применения цифровых технологий скрининга в военной медицине. Целью настоящего исследования явилась оптимизация алгоритмов раннего выявления субклинических аритмогенных состояний у военнослужащих на основе цифрового электрокардиографического скрининга и интегрированной стратификации риска внезапных сердечных событий.

Материалы и методы

Проведено проспективное обсервационное исследование в 2023–2025 гг. на базе Центрального военного клинического госпиталя Министерства обороны Республики Узбекистан совместно с Ташкентский государственный медицинский университет.

В исследование включено 314 военнослужащих в возрасте от 19 до 46 лет (средний возраст — $30,4 \pm 5,7$ года), проходивших плановое кардиологическое обследование. Всем участникам выполнены клиническое обследование, измерение артериального давления, оценка анамнестических данных, цифровая 12-канальная электрокардиография и анализ variability сердечного ритма. Электрокардиографическое исследование проводилось с использованием цифровой системы Schiller CARDIOVIT AT-102 G2 (Швейцария) в стандартных условиях покоя. Анализ ЭКГ включал оценку нарушений ритма и проводимости, интервалов PR, QRS и QT/QTc, признаков ранней реполяризации, фрагментации комплекса QRS, желудочковой экстрасистолии и изменений сегмента ST.

Дополнительно проводился анализ variability сердечного ритма с определением показателей SDNN, RMSSD и LF/HF. Снижение показателей variability рассматривалось как признак повышенного аритмогенного риска и нарушения автономной регуляции сердечной деятельности. Критериями включения являлись прохождение действительной военной службы, возраст от 18 до 46 лет и отсутствие ранее диагностированных структурных заболеваний сердца. Критериями исключения служили ишемическая болезнь сердца, кардиомиопатии, ранее зарегистрированные устойчивые аритмии, острые воспалительные заболевания и неполнота клинических данных.

На основании клинических и электрокардиографических показателей все обследованные были распределены на группы низкого, умеренного и высокого риска внезапных сердечных событий. Статистическая обработка данных проводилась с использованием программы SPSS Statistics 27.0. Количественные показатели представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения ($M \pm SD$). Для статистического анализа использовались критерий Стьюдента, χ^2 -критерий и ROC-анализ. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

В ходе проведённого цифрового электрокардиографического скрининга субклинические аритмогенные изменения выявлены у 62 (19,7%) из 314 обследованных военнослужащих. Большинство выявленных нарушений ранее клинически не диагностировались и протекали бессимптомно.

Наиболее распространёнными электрокардиографическими изменениями являлись желудочковая экстрасистолия — у 27 (8,6%) обследованных, нарушения процессов реполяризации — у 21 (6,7%), удлинение интервала QTc — у 16 (5,1%), фрагментация комплекса QRS — у 13 (4,1%), а также нарушения проводимости — у 11 (3,5%) военнослужащих. Снижение показателей variability сердечного ритма зарегистрировано у 58 (18,5%) обследованных и достоверно чаще встречалось среди лиц с высоким сердечно-сосудистым риском ($p < 0,001$). Согласно результатам интегрированной стратификации риска, к группе низкого риска были отнесены 179 (57,0%) военнослужащих, к группе умеренного риска — 94 (29,9%), к группе высокого риска — 41 (13,1%) обследованный. У лиц группы высокого риска достоверно чаще выявлялись желудочковые нарушения ритма, удлинение QTc и снижение показателей автономной регуляции сердечной деятельности.

Таблица 1. Частота электрокардиографических изменений в группах риска

| Показатели | Низкий риск (n=179) | Умеренный риск (n=94) | Высокий риск (n=41) | p |
|-----------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|--------|
| Желудочковая экстрасистолия | 4,5% | 11,7% | 31,7% | <0,001 |
| Удлинение QTc | 2,2% | 7,4% | 21,9% | <0,001 |
| Фрагментация QRS | 1,6% | 8,5% | 24,3% | 0,002 |
| Снижение HRV | 6,7% | 19,1% | 48,7% | <0,001 |
| Нарушения проводимости | 2,8% | 5,3% | 17,0% | 0,004 |

Разработанный алгоритм цифрового ЭКГ-скрининга продемонстрировал высокую диагностическую эффективность. Чувствительность метода составила 88,9%, специфичность — 84,7%, прогностическая ценность положительного результата — 76,8%, отрицательного результата — 91,5%. Площадь под ROC-кривой составила 0,89, что свидетельствует о высокой точности разработанной модели прогнозирования. Полученные результаты показали, что сочетание цифровой электрокардиографии с анализом variability сердечного ритма и интегрированной оценкой факторов риска значительно повышает эффективность раннего выявления скрытых аритмогенных состояний у военнослужащих.

Обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности цифрового электрокардиографического скрининга в раннем выявлении субклинических аритмогенных состояний у военнослужащих. Установлено, что почти у каждой пятой обследованной лица выявлялись скрытые электрофизиологические нарушения, ранее не диагностированные при стандартных профилактических осмотрах. Данный факт подтверждает ограниченные возможности традиционных методов кардиологического обследования в выявлении латентных нарушений сердечного ритма. Наиболее значимыми электрокардиографическими изменениями являлись желудочковая экстрасистолия, удлинение интервала QTc, фрагментация комплекса QRS и снижение variability

сердечного ритма. Выявленные нарушения значительно чаще регистрировались у военнослужащих группы высокого риска внезапных сердечных событий. Полученные данные согласуются с результатами современных международных исследований, указывающих на важную роль скрытой электрической нестабильности миокарда в развитии жизнеугрожающих аритмий. Особого внимания заслуживает снижение показателей variability сердечного ритма, отражающее нарушение автономной регуляции сердечной деятельности. В условиях интенсивных физических и психоэмоциональных нагрузок, характерных для военной службы, вегетативный дисбаланс может способствовать повышению аритмогенной готовности миокарда и увеличению риска внезапных сердечных осложнений. Применение цифровых технологий ЭКГ-анализа позволило повысить точность диагностики скрытых нарушений ритма и улучшить стратификацию сердечно-сосудистого риска. Высокие показатели чувствительности и специфичности разработанного алгоритма подтверждают перспективность использования автоматизированных систем анализа ЭКГ в практике военной медицины. Интеграция цифрового скрининга в систему регулярных медицинских осмотров может способствовать более раннему выявлению лиц с повышенным риском сердечно-сосудистых осложнений и своевременному проведению профилактических мероприятий. Следует отметить и некоторые ограничения проведённого исследования. Исследование проводилось в рамках одного медицинского центра и преимущественно включало мужчин молодого возраста, что ограничивает возможность экстраполяции результатов на другие популяции. Кроме того, не проводилось длительное динамическое наблюдение за обследованными военнослужащими для оценки отдалённых сердечно-сосудистых исходов. Несмотря на указанные ограничения, результаты исследования демонстрируют высокую клиническую значимость цифрового электрокардиографического скрининга в системе профилактической кардиологии.

Дальнейшие исследования с расширением выборки и использованием длительного мониторинга сердечной деятельности позволят дополнительно повысить эффективность алгоритмов прогнозирования внезапных сердечных событий у военнослужащих.

Заключение

Цифровой электрокардиографический скрининг в сочетании с интегрированной стратификацией сердечно-сосудистого риска продемонстрировал высокую эффективность в раннем выявлении субклинических аритмогенных состояний у военнослужащих.

Установлено, что значительная часть обследованных имела скрытые электрофизиологические нарушения, ассоциированные с повышенным риском внезапных сердечных событий. Наиболее значимыми предикторами аритмогенного риска являлись желудочковая экстрасистолия, удлинение интервала QTc, фрагментация комплекса QRS и снижение variability сердечного ритма. Применение автоматизированных алгоритмов цифрового анализа ЭКГ позволило существенно повысить качество ранней диагностики и эффективность стратификации риска. Полученные результаты подтверждают перспективность внедрения современных цифровых технологий электрокардиографического скрининга в систему профилактического медицинского наблюдения военнослужащих.

Использование предложенного алгоритма может способствовать своевременному выявлению лиц высокого риска, снижению вероятности внезапных сердечных осложнений и повышению уровня медицинской безопасности в условиях военной службы.

Литература

1. Corrado D, Zorzi A, Marra MP, Basso C. Risk stratification and prevention of sudden cardiac death in athletes and military personnel. *Heart*. 2021;107(18):1457-1465.
2. Drezner JA, Sharma S, Baggish A, Papadakis M. International criteria for electrocardiographic interpretation in athletes. *Br J Sports Med*. 2022;56(5):279-293.
3. Priori SG, Blomström-Lundqvist C, Mazzanti A, et al. ESC Guidelines for management of ventricular arrhythmias and prevention of sudden cardiac death. *Eur Heart J*. 2022;43(40):3997-4126.
4. Goldberger JJ, Arora R, Green D, et al. Heart rate variability and autonomic nervous system assessment in cardiovascular disease. *J Am Coll Cardiol*. 2021;77(2):145-156.
5. Sharma S, Merghani A, Gati S. Cardiac screening in asymptomatic physically active individuals. *Nat Rev Cardiol*. 2021;18(8):563-575.
6. Noseworthy PA, Asirvatham SJ. Artificial intelligence in ECG interpretation and arrhythmia prediction. *Lancet Digit Health*. 2022;4(6):e404-e416.
7. Finocchiaro G, Dhutia H, D'Silva A, et al. Cardiovascular screening and prevention of sudden cardiac death. *Eur J Prev Cardiol*. 2023;30(6):731-740.
8. Claessen G, Schnell F, Bogaert J, et al. Exercise-induced cardiac remodeling and arrhythmogenic risk. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2021;14(3):617-629.
9. Martinez MW, Tucker AM, Bloom OJ, et al. Electrocardiographic abnormalities in military personnel. *Am J Cardiol*. 2020;125(8):1234-1241.
10. Kusumoto FM, Bailey KR, Chaouki AS, et al. Screening for sudden cardiac death risk factors in young populations. *Heart Rhythm*. 2021;18(4):649-657.