



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

М.К. Кадилова

Ташкентский государственный медицинский университет  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.20302662>

### 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 серьёзную 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 variability 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,  $\chi^2$ -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.

