

# Искусственный интеллект в кардиологии

**Мамедов М.Н., Савчук Е.А., Каримов А.К.**

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины»  
Минздрава России, Москва, Россия.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Мамедов Мехман Ниязи оглы**, руководитель отдела вторичной профилактики ХНИЗ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины» Минздрава России, Москва, Россия. ORCID: 0000-0001-7131-8049

**Савчук Елизавета Анатольевна**, лаборант-исследователь отдела вторичной профилактики ХНИЗ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины» Минздрава России, Москва, Россия. ORCID: 0000-0001-7634-0448

**Каримов Азамат Курбанович**, мл. науч. сотрудник отдела вторичной профилактики ХНИЗ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины» Минздрава России, Москва, Россия. ORCID: 0000-0003-1255-0416

Искусственный интеллект (ИИ) имеет перспективы развития в кардиологии для оценки результатов диагностических процедур, включая: рентгенографию, электрокардиографию, эхокардиографию, компьютерную томографию и магнитно-резонансную томографию. Он позволяет показать отклонения, которые ранее кардиологам было трудно обнаружить, и определить вероятность возникновения сердечно-сосудистого заболевания (ССЗ). Кроме того, ИИ может применяться при прогнозировании риска осложнений. В перспективе различные типы медицинского ИИ будут использоваться для лечения ССЗ; однако сам ИИ не сможет заменить врачей. Появляются сообщения о рандомизированных контролируемых исследованиях, подтверждающих полезность сердечно-сосудистого ИИ. Необходимо оценивать сильные и слабые стороны медицинского ИИ, чтобы кардиологи могли эффективно использовать эту

технологии для улучшения медицинского обслуживания пациентов.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, диагностика, кардиология.

**Конфликт интересов:** не заявлен.

Поступила: 21.06.2024

Принята: 30.07.2024



**Для цитирования:** Мамедов М.Н., Савчук Е.А., Каримов А.К. Искусственный интеллект в кардиологии. Международный журнал сердца и сосудистых заболеваний. 2024. 12(43): 5-11. DOI: 10.24412/2311-1623-2024-43-5-11

## Artificial intelligence in cardiology

Mamedov M.N., Savchuk E.A., Karimov A.K.

National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine, Moscow, Russia.

### AUTHORS

**Mekhman N. Mamedov**, MD, PhD, Professor, Head of the Secondary Prevention of Noncommunicable Diseases Department, National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine, Moscow, Russia. ORCID: 0000-0001-7131-8049

**Elizaveta A. Savchuk**, Research Laboratory Assistant of the Secondary Prevention of Noncommunicable Diseases Department, National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine, Moscow, Russia. ORCID: 0000-0001-7634-0448

**Azamat K. Karimov**, Junior Researcher of the Secondary Prevention of Noncommunicable Diseases Department, National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine, Moscow, Russia. ORCID: 0000-0003-1255-0416

Artificial intelligence (AI) holds great promise in cardiology for evaluating the results of diagnostic procedures, including X-ray imaging, electrocardiography, echocardiography, computed tomography, and magnetic resonance imaging. It can reveal abnormalities that were previously difficult for cardiologists to detect and determine the likelihood of cardiovascular disease development. In addition, AI can be used to predict the risk of complications. In the future, various types of medical AI will be used to treat cardiovascular diseases; however, AI itself will not be able to replace the physicians. Reports of randomized controlled trials confirming the benefits of cardiovascular AI are emerging. The strengths and weaknesses of medical AI need to be evaluated so that

cardiologists can effectively use this technology to improve patient care.

**Keywords:** artificial intelligence, diagnostics, cardiology.  
**Conflict of interests:** none declared.

**Conflict of interests:** none declared.

Received: 21.06.2024  
Accepted: 30.07.2024

**For citation:** Mamedov M.N., Savchuk E.A., Karimov A.K. Artificial intelligence in cardiology. International Journal of Heart and Vascular Diseases. 2024. 12(43): 5-11. DOI: 10.24412/2311-1623-2024-43-5-11

### Список сокращений

ВОЗ — Всемирная организация здравоохранения  
ИИ — искусственный интеллект  
ИМ — инфаркт миокарда  
КА — коронарная артерия  
КТ — компьютерная томография  
МРТ — магнитно-резонансная томография  
РКИ — рандомизированные контролируемые исследования

ССЗ — сердечно-сосудистые заболевания  
ССС — сердечно-сосудистое событие  
СН — сердечная недостаточность  
ФВ — фракция выброса  
ФП — фибрилляция предсердий  
ЭКГ — электрокардиография  
ЭхоКГ — эхокардиография

### Введение

В глобальной стратегии Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) для цифрового здравоохранения на 2020–2025 годы отмечается, что технологичная медицинская помощь должна быть доступной для пациентов. В качестве приоритетов указывается безопасность и конфиденциальность информации, прозрачность обработки данных и укрепление доверия к электронным услугам [1]. В России на федеральный проект «Развитие сети национальных медицинских исследовательских центров и внедрение инновационных

медицинских технологий» в период с 2019 по 2024 годы выделено более 60 млрд рублей [2].

Среди инновационных технологий в здравоохранении рассматриваются следующие направления: искусственный интеллект (ИИ), медицинская робототехника, носимые устройства для мониторинга здоровья, анализ и редактирование генома, технологии виртуальной и дополненной реальности, имплантируемые устройства и протезы, системы доставки лекарств, биопринтинг и телемедицина.

ИИ — это имитирование компьютером логики и мыслительных процессов человека для решения различных задач. Машинное обучение — одна из ветвей ИИ, она включает процессы, с помощью которых компьютер получает и распознаёт данные. Затем машина делает предположения на основе выявленных зависимостей.

ИИ — помощник учёных и врачей в различных областях медицины, среди которых:

- управление электронными медицинскими данными;
- диагностика заболеваний;
- планирование медикаментозного и хирургического лечения;
- персонализированная медицинская помощь;
- мониторинг здоровья;
- разработка лекарств;
- проведение виртуальных консультаций [3].

Применение ИИ в медицине впервые было описано в 1976 году, это была разработка компьютерного алгоритма для выявления причин острой боли в животе [4]. С тех времен диапазон применения ИИ значительно расширился. Теперь, благодаря этой технологии, возможно выявление рака кожи на ранних этапах, диабетической ретинопатии; интерпретация изображений в области радиологии. Помимо диагностической визуализации, опубликованы данные о применении ИИ в изготовлении нейропротезов для пациентов, перенесших инсульт, с использованием интерфейса мозг-компьютер.

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) иницируются многочисленными исследованиями с применением ИИ [5]. Разрабатываются несколько типов ИИ для различных инструментальных исследований, таких как рентген, электрокардиография (ЭКГ), эхокардиография (ЭхоКГ), компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ). Предполагается, что использование ИИ в кардиологии будет рекомендовано в клинической практике, как только будут получены существенные доказательства [6].

Ниже приводится краткий обзор опубликованных исследований по применению ИИ в диагностике ССЗ.

## Рентгеновские исследования искусственного интеллекта

В кардиологической практике рентгенологическое исследование органов грудной клетки применяется для дифференциальной диагностики. Тоба и соавт. разработали ИИ, предполагающий гемодинамику на основе данных рентгенографии органов грудной

клетки с использованием рентгенограмм 657 пациентов с врожденными пороками сердца [7].

Коэффициент корреляции между соотношением легочного и системного кровотока, измеренный через катетер и полученный с помощью ИИ по данным рентгенографии, оказался высоким. Matsumoto и соавт. создали ИИ, позволяющий отличать признаки сердечной недостаточности (СН) от нормы с помощью рентгенограммы грудной клетки [8].

Путем трансферного обучения с использованием VGG16, полученного через ImageNet, был создан ИИ, позволяющий отличать СН от нормы на 638 рентгенограммах грудной клетки, и его точность составила 82 %, чувствительность и специфичность — 75 % и 94 % соответственно.

## ЭКГ ИИ-исследование

Автоматическая интерпретация ЭКГ широко применяется в клинической практике, что позволяет идентифицировать аритмии и изменения сегмента ST. ИИ ЭКГ может выявлять отклонения, которые раньше было трудно идентифицировать с помощью автоматических приборов. Attia и соавт. утверждают, что применение ИИ в ЭКГ предсказывает начало фибрилляции предсердий (ФП) во время синусового ритма [9]. После публикации результатов исследования, в которой начало ФП было предсказано с помощью ИИ на основе ЭКГ 180 922 случаев (чувствительность — 79 %, специфичность — 79,5 %) клиницисты проявили интерес к этой методике.

Уао и соавт. протестировали эффективность ЭКГ ИИ для выявления снижения фракции выброса (ФВ) в рандомизированном контролируемом исследовании (РКИ) [10]. Они были распределены на 22 641 случай по группам (с ЭКГ ИИ и без него) путем кластерной рандомизации для сравнения диагностической частоты определения снижения ФВ. В группе, использующей ЭКГ ИИ, частота выявления снижения ФВ увеличилась на ~30 %.

Другие авторы разработали ЭКГ ИИ для диагностики сердечного амилоидоза [11]. В модели, созданной с использованием данных ЭКГ, в 3191 случае, производительность была результативной. Они также сообщили об улучшении результатов, когда этот метод сочетался с ЭхоКГ.

Sawano и соавт. разработали ИИ, используя данные ЭКГ 29 859 случаев, и выявили аортальную регургитацию с высокой площадью под ROC-кривой (AUC) 0,80 [12]. В целом, развитие ИИ ЭКГ в последние годы быстро прогрессировало.

## Эхокардиографические исследования с использованием искусственного интеллекта

В последние годы развиваются: автоматическое измерение функции сердца, диагностика заболеваний и прогнозирование с помощью ЭхоКГ ИИ. EchoNet-Dynamic — это автоматический ИИ для ЭхоКГ [13].

С помощью трехмерной (3D) CNN и семантической сегментации на основе 10 030 ЭхоКГ видеороликов для обучения разработан ИИ, который можно использовать для автоматического измерения значения ФВ. Коэффициент корреляции между значением ФВ, предполагаемым ИИ, и значением, определенным специалистами по ЭхоКГ, достигал 0,9, что соответствует AUC 0,97.

Salte и соавт. разработали ИИ, который измеряет глобальную продольную деформацию по ЭхоКГ видео [14]. Коэффициент корреляции между фактически измеренной глобальной продольной деформацией и предполагаемой глобальной продольной деформацией ИИ достигал 0,93, что позволяет предположить, что ИИ может сократить время обследования для ЭхоКГ.

Ulloa Segna и соавт. разработали высокоточный ИИ для прогнозирования годового прогноза (AUC 0,83) на основе ЭхоКГ видео 32 362 человек [15]. Кардиологи с помощью этой модели существенно улучшили чувствительность прогнозирования на 13 % при прогнозировании выживаемости через год на основе ЭхоКГ видео.

Shad и соавт. разработали ИИ, который прогнозирует послеоперационную правожелудочковую недостаточность по предоперационной эхоКГ видеозаписи, чья эффективность прогнозирования показала AUC 0,73, что было выше, чем у группы клинических экспертов с AUC 0,58 [16].

## Исследования ИИ на КТ

КТ коронарных артерий (КА) применяется для оценки состояния КА без инвазивного вмешательства. Было разработано множество типов КТ ИИ с использованием таких методов анализа, как 3D-CNN.

Martin и соавт. сообщили, что фракционный резерв кровотока (FFR) КТ, был полезен для прогнозирования ревазуляризации и серьезных неблагоприятных сердечных событий (MACE) [17]. КТ FFR 159 случаев могла предсказать начало ревазуляризации и MACE через год с более высокой точностью по сравнению с традиционной коронарной КТ-ангиографией (отношение шансов=3,4).

Zelevnik и соавт. разработали ИИ, который оценивает показатели кальцификации КА по данным

обычной КТ и прогнозирует сердечно-сосудистые события (ССС) [18]. ИИ оценил показатель кальцификации КА по данным обычной КТ (без контрастирования) в 20 084 случаях. Между измеренными значениями специалистов и расчетной значимости ИИ коэффициент корреляции Спирмена составил 0,92. Более того, оценка показателя кальцификации на основе ИИ была полезна для прогнозирования сердечно-сосудистых событий (отношение риска=4,3).

Kumagai и соавт. разработали ИИ, который рассчитывает фракционный резерв кровотока по данным коронарной КТ [19]. Использовали КТ КА 921 исследования. Автоматическая оценка фракционного резерва кровотока с помощью СТ AI может выявить аномальный фракционный резерв кровотока с AUC 0,78, чувствительностью 84,6 % и специфичностью 62,6 %.

## МРТ ИИ-исследования

ИИ применяется в интерпретации результатов МРТ сердца.

Knott и соавт. сообщают о предсказании ССС с помощью ИИ, который автоматически оценивает кровоток в миокарде [20]. Перфузионный резерв миокарда оценивали по данным МРТ сердца 1049 случаев, что свидетельствует о значимости МРТ ИИ в прогнозе ССС.

Zhang и соавт. разработали модель выявления перенесенного инфаркта миокарда (ИМ) при бесконтрастной МРТ [21]. Перенесенный ИМ можно было обнаружить с высокой точностью — 99 %.

Piccini и соавт. разработали ИИ для имитации экспертной оценки качества изображений МРТ сердца с использованием МРТ сердца в 424 случаях [22]. Показатели регрессии этого ИИ очень хорошо согласовывались с заключениями экспертов.

## Сердечно-сосудистый ИИ с использованием GAN

GAN — это метод создания поддельных изображений, который генерирует несуществующие изображения с использованием изученных данных [23].

GAN состоит из двух сетей: генератора (сети генерации) и дискриминатора (сети дискриминации), и качество изображений можно улучшить, конкурируя эти сети друг с другом. В последние годы GAN использовался при разработке сердечно-сосудистого ИИ. Miyoshi и соавт. создали ИИ, который интерпретирует степень покрытия неоинтимы и степень желтого цвета на ангиоскопических изображениях 47 случаев [24]. Точность считывания



ИИ улучшилась с AUC 0,77 до 0,81, когда данные сосудистой эндоскопии были дополнены GAN.

Diller и соавт. использовали GAN для создания 100 тыс. изображений МРТ сердца из 303 случаев врожденных пороков сердца [25]. GAN может быть полезен для создания изображений редких заболеваний.

## Этика медицинского ИИ

Существует несколько примеров потенциально-неправомерного использования ИИ, например, сбор информации в коммерческих целях или мониторинг личного поведения без согласия. Было отмечено, что даже при отсутствии злого умысла использование ограниченных, некачественных и нерепрезентативных данных для анализа ИИ может привести к углублению предубеждений и неравенства. Этика важна при разработке медицинского ИИ. Другими словами, обеспечение прозрачности, справедливости, непричинения вреда, ответственности и конфиденциальности важно в этике медицинского ИИ [26].

ВОЗ определила следующие этические принципы ИИ:

- защита человеческой автономии;
- содействие благополучию и безопасности людей и общественным интересам;
- обеспечение прозрачности, объяснимости и понятности;
- повышение ответственности и подотчетности;
- обеспечение инклюзивности и справедливости;
- продвижение гибкого и устойчивого ИИ [27].

Rogers и соавт. сообщили о необходимости ознакомить пациентов и общественность с перспективами развития медицинского ИИ [28].

При этом также необходимо учитывать, как медицинский ИИ повлияет на отношения врача и пациента.

## Заменит ли ИИ медперсонал в кардиологической практике?

Ожидается, что в будущем ИИ для диагностики (включая носимые устройства) в кардиологии получит развитие. Хотя были разработаны различные типы медицинского ИИ для лечения ССЗ, они никогда не исключают необходимости присутствия врачей. В Японии врач несет основную ответственность за уход за пациентами, поэтому роль медицинского

ИИ по-прежнему заключается в оказании помощи врачу.

На сегодняшний день разработано несколько типов медицинского ИИ для диагностики, в то же время разработка ИИ для лечения ограничена. РКИ, но не прогнозы ИИ, являются золотым стандартом для определения лучших протоколов лечения для конкретных состояний. В будущем врачи будут продолжать играть важную роль в определении оптимального лечения для каждого пациента. С другой стороны, врачи должны использовать ИИ для улучшения диагностики и верификации диагноза. С другой стороны врачи, использующие ИИ, должны знать, что ИИ уязвим к некоторым не распознанным данным. Если врачи твердо поймут слабые стороны ИИ и будут использовать ИИ взвешенно, можно ожидать повышения точности диагностики. В исследовании на основе анкетного опроса 1041 врачей-рентгенологов и ординаторов было продемонстрировано, что ограниченные уровни знаний об ИИ связаны со страхом замены, тогда как уровни знаний об ИИ от среднего до продвинутого связаны с позитивным отношением к ИИ [29].

Поскольку кардиологи имеют больше знаний об ИИ, они будут все чаще выступать за использование ИИ и смогут более эффективно использовать ИИ в клинической практике.

## Заключение

Медицинский ИИ развивается быстрыми темпами, разработанные технологии имеют большие перспективы в кардиологической практике. ИИ может использоваться в кардиологии, в первую очередь, с диагностической целью в интерпретации таких методов как рентгенография, ЭКГ, ЭхоКГ, КТ и МРТ. В то же время разработки ИИ для выбора лечения ССЗ имеются в ограниченном количестве. В будущем врачи будут продолжать играть важную роль в определении оптимального лечения для каждого пациента. Однако, медицинский ИИ не сможет заменить работу врачей. Благодаря лучшему пониманию эффективности медицинского ИИ, кардиологи, смогут использовать его с целью улучшения медицинской помощи пациентам с различными ССЗ.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

## Литература/References

1. Global strategy on digital health 2020–2025. Geneva: World Health Organization; 2021. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
2. The role of breakthrough medical technologies in the face of new challenges. *Analytical Bulletin*. 2022. № 10. (800). Russian (Роль прорывных медицинских технологий в условиях новых вызовов. *Аналитический вестник*. 2022. № 10 (800)).
3. Aung YYM, Wong DCS, Ting DSW. The promise of artificial intelligence: a review of the opportunities and challenges of artificial intelligence in healthcare. *Br Med Bull*. 2021 Sep 10;139(1):4-15. DOI: 10.1093/bmb/ldab016
4. Fogel AL, Kvedar JC. Artificial intelligence powers digital medicine. *Npj Digit Med [Internet]* 14 March 2018 [cited 9 November 2018];1:5.
5. Quer G, Arnaout R, Henne M, Arnaout R. Machine learning and the future of cardiovascular care: JACC State-of-the-Art Review. *Journal of the American College of Cardiology*. 2021; 77 (3): 300-313. DOI: 10.1016/j.jacc.2020.11.030
6. Kodera S, Akazawa H, Morita H, Komuro I. Prospects for cardiovascular medicine using artificial intelligence. *Journal of Cardiology* 79 (2022) 319–325. DOI: 10.1016/j.jjcc.2021.10.016
7. Toba S, Mitani Y, Yodoya N, et al. Prediction of Pulmonary to Systemic Flow Ratio in Patients With Congenital Heart Disease Using Deep Learning-Based Analysis of Chest Radiographs. *JAMA Cardiol*. 2020 Apr 1;5(4):449-457. DOI: 10.1001/jamacardio.2019.5620
8. Matsumoto T, Kodera S, Shinohara H, et al. Diagnosing Heart Failure from Chest X-Ray Images Using Deep Learning. *Int Heart J*. 2020 Jul 30;61(4):781-786. DOI: 10.1536/ihj.19-714
9. Attia ZI, Noseworthy PA, Lopez-Jimenez F, et al. An artificial intelligence-enabled ECG algorithm for the identification of patients with atrial fibrillation during sinus rhythm: a retrospective analysis of outcome prediction. *Lancet*. 2019 Sep 7;394(10201):861-867. DOI: 10.1016/S0140-6736(19)31721-0
10. Yao X, Rushlow DR, Inselman JW, et al. Artificial intelligence-enabled electrocardiograms for identification of patients with low ejection fraction: a pragmatic, randomized clinical trial. *Nat Med*. 2021 May;27(5):815-819. DOI: 10.1038/s41591-021-01335-4
11. Goto S, Mahara K, Beussink-Nelson L, et al. Artificial intelligence-enabled fully automated detection of cardiac amyloidosis using electrocardiograms and echocardiograms. *Nat Commun*. 2021 May 11;12(1):2726. DOI: 10.1038/s41467-021-22877-8
12. Sawano S, Kodera S, Katsushika S, et al. Deep learning model to detect significant aortic regurgitation using electrocardiography: detection model for aortic regurgitation. *J Cardiol*. 2022; 79: 334–341. DOI: 10.1016/j.jjcc.2021.08.029 0914-5087
13. Ouyang D, He B, Ghorbani A, et al. Video-based AI for beat-to-beat assessment of cardiac function. *Nature*. 2020 Apr; 580(7802):252-256. DOI: 10.1038/s41586-020-2145-8
14. Salte IM, Østvik A, Smistad E, et al. Artificial Intelligence for Automatic Measurement of Left Ventricular Strain in Echocardiography. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2021 Oct; 14(10):1918-1928. DOI: 10.1016/j.jcmg.2021.04.018
15. Ulloa Cerna AE, Jing L, Good CW, et al. Deep-learning-assisted analysis of echocardiographic videos improves predictions of all-cause mortality. *Nat Biomed Eng*. 2021 Jun;5(6):546-554. DOI: 10.1038/s41551-020-00667-9
16. Shad R, Quach N, Fong R, et al. Predicting post-operative right ventricular failure using video-based deep learning. *Nat Commun*. 2021 Aug 31;12(1):5192. DOI: 10.1038/s41467-021-25503-9
17. Martin SS, Mastrodicasa D, van Assen M, et al. Value of Machine Learning-based Coronary CT Fractional Flow Reserve Applied to Triple-Rule-Out CT Angiography in Acute Chest Pain. *Radiol Cardiothorac Imaging*. 2020 Jun 25;2(3):e190137. DOI: 10.1148/ryct.2020190137
18. Zeleznik R, Foldyna B, Eslami P, et al. Deep convolutional neural networks to predict cardiovascular risk from computed tomography. *Nat Commun*. 2021 Jan 29;12(1):715. DOI: 10.1038/s41467-021-20966-2
19. Kumamaru KK, Fujimoto S, Otsuka Y, et al. Diagnostic accuracy of 3D deep-learning-based fully automated estimation of patient-level minimum fractional flow reserve from coronary computed tomography angiography. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2020 Apr 1;21(4):437-445. DOI: 10.1093/ehjci/jez160
20. Knott KD, Seraphim A, Augusto JB, et al. The Prognostic Significance of Quantitative Myocardial Perfusion: An Artificial Intelligence-Based Approach Using Perfusion Mapping. *Circulation*. 2020 Apr 21;141(16):1282-1291. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.119.044666
21. Zhang N, Yang G, Gao Z, et al. Deep Learning for Diagnosis of Chronic Myocardial Infarction on Nonenhanced Cardiac Cine MRI. *Radiology*. 2019 Jun;291(3):606-617. DOI: 10.1148/radiol.2019182304
22. Piccini D, Demesmaeker R, Heerfordt J, et al. Deep Learning to Automate Reference-Free Image Quality Assessment of Whole-Heart MR Images. *Radiol Artif Intell*. 2020 May 27;2(3):e190123. DOI: 10.1148/ryai.2020190123
23. Goodfellow I, Pouget-Abadie J, Mirza M, et al. Generative adversarial networks. *Communications of the ACM*. 2020 Oct 22;63(11):139-44.
24. Miyoshi T, Higaki A, Kawakami H, Yamaguchi O. Automated interpretation of the coronary angiography with deep convolutional neural networks. *Open Heart*. 2020 May;7(1):e001177. DOI: 10.1136/openhrt-2019-001177
25. Diller GP, Vahle J, Radke R, et al.; German Competence Network for Congenital Heart Defects Investigators. Utility of deep learning networks for the generation of artificial cardiac magnetic resonance images in congenital heart disease. *BMC Med Imaging*. 2020 Oct 8;20(1):113. DOI: 10.1186/s12880-020-00511-1



- 
26. Jobin A, Ienca M, Vayena E. The global landscape of AI ethics guidelines. *Nat Mach Intell.* 1, 389–399 (2019). DOI: 10.1038/s42256-019-0088-2
27. Wei BR, Xue P, Jiang Y, Zhai XM, Qiao YL. World Health Organization guidance Ethical and Governance of Artificial Intelligence for health and implications for China. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi.* 2022 Mar 29;102(12):833-837. Chinese. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20211223-02875
28. Rogers WA, Draper H, Carter SM. Evaluation of artificial intelligence clinical applications: Detailed case analyses show value of healthcare ethics approach in identifying patient care issues. *Bioethics.* 2021 Sep;35(7):623-633. DOI: 10.1111/bioe.12885
29. Huisman M, Ranschaert E, Parker W, et al. An international survey on AI in radiology in 1,041 radiologists and radiology residents part 1: fear of replacement, knowledge, and attitude. *Eur Radiol.* 2021 Sep;31(9):7058-7066. DOI: 10.1007/s00330-021-07781-5