

Does Artificial Intelligence Guided Approach to Cardiac Arrest Increase Survival Rate? Will Neurological Outcomes Improve?

Yapay Zekâ Eşliğinde Kardiyak Arreste Yaklaşım Sağ Kalım Oranını Artırır mı? Nörolojik Sonuçlar İyileşir mi?

Fatma Tortum¹, Tayfun Karataş^{2*}

ABSTRACT

Interest in the use of Artificial intelligence (AI) in in-hospital and out-of-hospital emergency situations has increased in recent years. In this review, we present a summary of recent studies using in-hospital and out-of-hospital AI for cardiac arrest management. Cardiac arrest is known as a life-threatening cessation of cardiac activity, and early diagnosis and intervention are crucial. For this reason, AI technologies are being used more and more nowadays as they allow for earlier identification of patients at risk.

Keywords: artificial intelligence, cardiac arrest, prediction

Öz

Hastane içi ve hastane dışı acil uygulama gerektiren durumlarda Yapay zekâ (Artificial intelligence (AI)) kullanımına olan ilgi son yıllarda artış göstermiştir. Bu derlemede, kardiyak arrest yönetimi için hastane içi ve hastane dışı yapay zekâ ile yapılmış güncel çalışmaların bir özeti sunulmaktadır. Kardiyak arrest kalpteki aktivitenin hayatı tehdit eden bir şekilde durması olarak bilinir ve erken teşhis ve müdahale oldukça önemlidir. Bu nedenle, AI teknolojileri risk altındaki hastaların daha öncesinde belirlenmesine imkân sağlamasından dolayı günümüzde daha fazla kullanılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Yapay zekâ, kardiyak arrest, tahmin

1. Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi Acil Tıp Anabilim Dalı Erzurum-Türkiye

2. Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi İlk ve Acil Yardım Programı Ağrı-Türkiye

Gönderilme Tarihi: 11/06/2024

Kabul Tarihi: 27/06/2024

Yayınlanma Tarihi: 30/06/2024

*Sorumlu Yazar

Tayfun Karataş

Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu İlk ve Acil Yardım Programı Ağrı-Türkiye

Phone: +90 2163191, E-mail: tkaratas025@gmail.com

ORCID: 0000-0001-6729-6350

Cite this article: Tortum F, Karataş T. Does Artificial Intelligence Guided Approach to Cardiac Arrest Increase Survival Rate? Will Neurological Outcomes Improve? Ağrı Med J. 2024; 2(2): 88-91

Giriş

Ani kardiyak ölüm olarak da bilinen kardiyak arrest beyin ve kalbin kan akışından mahrum kalmasından dolayı oldukça sık görülen ve mortal bir durumdur (1). Beyin ve kalp gibi hayati organlar kan akışından mahrum kalması nedeniyle bu akut durum acil müdahale gerektirir. Müdahalede gecikme yaşam boyu komplikasyonlara ve hatta ölüme yol açabilir (1). Kalp durması sonrası küresel ölüm oranı oldukça yüksektir ve hastane dışı kalp durması (Out-of-hospital cardiac arrest, (OHCA)) vakalarının %78'i hastaneye ulaşmadan hayatını kaybetmektedir (1,2).

Kardiyak arrest anından taburcu anına kadar OHCA için hayatta kalma oranı dünya genelinde %2 ila %11 arasında değişmektedir (3). Hastane ortamında meydana gelen kardiyak arrest ölümlerinin sayısı da önemlidir. Yalnızca Amerika Birleşik Devletleri'nde, yıllık olarak 290.000'in üzerinde kardiyak arrestte meydana gelmektedir ve sağkalım oranları ortalama %18,1 ve bu oranın çok küçük bir yüzdesi olumlu nörolojik prognoza sahip olmaktadır (1,4).

Başarılı bir resüsitasyon yapmak, sağ kalım oranını artırmak ve iyi bir nörolojik iyileşme elde etmek, acil servis çalışanlarının ortak hedefi ve amacıdır. Bu nedenle bu yönde birçok çalışma yapılmaya devam edilmektedir. Günümüzde bu çalışmaların yoğunlaştığı alanlardan biri de AI kullanımıdır.

AI Teknolojisinin Acil Çağrı Merkezinde Kullanımı

Erken tanı ve müdahale, yüksek kaliteli kardiopulmoner resüsitasyon (CPR), defibrilasyon, post-resüsitasyon bakımı, komplikasyonların önlenmesi ve tedavisi, altta yatan hastalık, yaş ve sosyo-ekonomik faktörler, sağ kalımı ve nörolojik iyileşmeyi etkileyecek önemli faktörlerdendir. Son yıllarda kardiyak arrestin erken tanınma ve erken müdahalesi (arrestin ön görülmesi, arrestin erken tanınması, erken göğüs basılarına başlanması), defibrilasyon (doğru zamanda, doğru yöntemle, göğüs basılarını kesintiye uğratmaksızın, ölümcül ritimlerin erken tanınması, defibrilatör ulaşımını kolaylaştırma), ve post-resüsitatif sonuçları ön görmede AI'nın kullanılması önemli rol oynayabilir.

Blomberg ve arkadaşları tarafından Kopenhag'da kardiyak arrestin erken tanınması ile ilgili acil yardım hattına yapılan 108.607 acil çağrı incelenmiş ve bu çağrılardan 918'inin kardiyak arrest ile ilişkili olduğunu tespit edilmiştir. Gelen çağrılar üzerinden kardiyak arresti tanımak için makine öğrenimi ile geliştirdiği AI programı ile hastane dışı kardiyak arresti tanımak için duyarlılık, özgüllük ve pozitif prediktif değer hesaplanmıştır. AI programının performansı, tıbbi sevk görevlileri tarafından kardiyak arrestin gerçek tanıma süresiyle karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda işlenmemiş ve düzenlenmemiş ses dosyalarını analiz eden AI'nın acil yanıt sistemi çalışanlarına göre kardiyak arrest durumunu daha hızlı ve daha doğru tespit ettiği, kurtarıcıya daha hızlı destek sağlanabildiği, olay yerine acil yardım ekiplerinin daha hızlı sevk edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır (5). Byrsell ve arkadaşları, önceden tanımlanmış ayara bağlı olarak az yada çok OHCA'nın önceden tespit edilebilmesi için makine öğrenimi ile geliştirdiği AI programı ile İsveç acil çağrı merkezinin yapılan 851 OHCA vakasını incelenmiştir. Bu vakalarda OHCA tanısı oranı AI destekli programda %36 iken, acil yanıt sistemi çalışanlarında bu oranı %25 olarak tespit etmiştir. Hem AI programı, hem de acil yanıt sistemi çalışanları tarafından tanınan OHCA'lar arasında AI programı lehine 28 saniyelik bir ortalama fark bulunmuş ve bu çalışmada kardiyak arrestin AI destekli programlar ile ortalama 72 saniyede, acil yanıt sistemi çalışanları tarafından ortalama 94 saniyede tespit edildiği belirlenmiştir (6). Bu çalışmanın sonucunda AI destekli programların gelen çağrılarının daha erken ve doğru tanınmasına ve temel yaşam desteğinin daha erken

başlanmasına imkân sağlayabileceğini göstermiştir.

AI Teknolojisi ile Kardiyak Arrestin Erken Belirlenmesi

Kardiyak arrestin erken tanınması kadar erken ön görülmesi de sağ kalımı etkileyecek durumlardan biridir. Son zamanlarda geliştirilen derin öğrenme tabanlı erken uyarı puanının (DEWS), durumu kötüleşen hastaları tahmin etme potansiyeli olup olmadığını araştıran Lee ve arkadaşları hastane içi kalp durması (In-hospital cardiac arrest, IHCA) riski taşıyan hastaları belirlemek için Deep Learning-Based Early Warning Score (DEWS) erken uyarı puanıyla Modified Early Warning Score (MEWS) karşılaştırmışlardır. Bu çalışmaya 1 yıl boyunca beş hastanenin genel servislerine başvuran 173.368 yetişkin hasta dâhil edilmiştir. Hastaların vital bulgularının takibi ile yapılan bu çalışmada vakalardan 224'nin IHCA olduğu ve DEWS'in MEWS'ten daha başarılı olduğu belirlenmiştir (7). Kwon ve arkadaşları da hastanede yatarak tedavi alan hastaların sistolik kan basıncı, nabız, solunum hızı ve vücut ısısını sık aralıklarla ölçerek kardiyak arresti ön görmeye yönelik bir AI programı kullanmış ve bu programın IHCA riski taşıyan hastaların %50'sinden fazlasını olaydan 14 saat önce tespit edebildiğini göstermiştir (8). Park ve arkadaşları vital bulgular aracılığı ile kardiyak arresti ön görmeye yönelik geliştirdikleri AI programı ile 50.019 pediatrik vakadan kardiyak arrest gelişen veya pediatrik yoğun bakıma ihtiyacı olan hastalar için geliştirdikleri AI programı ile 24 saat öncesinde yatan hastalarda IHCA ve beklenmedik çocuk yoğun bakım ünitesi (ÇYBÜ) transferleri öngörmede iyi bir performans gösterdiğini belirlemişlerdir (9). Jang ve arkadaşları acil servis başvurularında gelişecek kardiyak arrest durumunu erken tanımak için yaptıkları çalışmada 374.605 acil servis başvurusunu incelemiş ve acil serviste kardiyak arrest geçiren 1.097 hastanın demografik bilgileri (yaş ve cinsiyet), ana şikâyetleri, vital bulguları ve bilinç düzeyleri (AVPU (A: uyanıklık hali V: sözlü uyarılara yanıtılık P: ağrıya tepki verme ve U: tepkisizlik) ölçeğine göre) AI destekli bir programa tanımlanmış ve kardiyak arrest gelişecek vakaları ön görüp göremeyeceği incelenmiş ve AI programının geleneksel risk skorlarından daha başarılı bir şekilde kardiyak arrest vakalarını ön gördüğü sonucuna ulaşılmıştır (10). Alonso ve arkadaşları bu konuyu biraz daha detaylandırarak AI programına 8.321 hastanın Adenozin Miyokardiyal Perfüzyon (Single-photon emission computed tomography, SPECT) görüntülerini ve kardiyak arrest risk faktörleri tanımlayarak kardiyak arresti ön görme yetisini değerlendirmiş ve bu vakalardan 551'i için kardiyak arrest geliştiğini belirlemişlerdir. AI programının hastalarda gelişecek kardiyak arrest riskinin önceden belirlenmesinde önemli bir rol oynayabileceğini göstermiştir (11).

Kardiyak arrest vakalarına erken müdahale edilmesi sağ kalımı ve iyi nörolojik iyileşmeyi olumlu etkiler. Bu konuda yapılan halk eğitimlerine rağmen, kardiyak arrest vakalarına müdahale etme oranları oldukça düşüktür. Bu oranların artırılması için birçok eğitim yapılmaktadır. Bu konuda AI'nin etkilerini araştıran çalışmalar teknoloji ile ilerlemeye devam etmektedir. İlk olarak acil yardım ekiplerinin görüntülü aranmasının erken müdahaleye etkisi üzerine yapılmış çalışmalara göz atmak gerekmektedir. Lee ve arkadaşlarının 1.720 OHCA vakası ile yaptıkları bir çalışmada 1.489 sesli, 231 arama ise görüntülü olarak acil yardım ekipleri tarafından yönlendirildi. Görüntülü olarak yardım alan hastalarda sağ kalım ve iyi nörolojik iyileşmenin daha fazla olduğu görüldü (12). Teknolojik ilerlemeler ile hayatımıza giren Chatbotların kardiyak arrest vakalarında kurtarıcıya yardım edip edemeyeceğini inceleyen Agra ve arkadaşlarının, çalışmasında ise kurtarıcılar karşılaştıkları kardiyak arrest durumunda Chatbotlardan yardım isteyerek durumu yönetmişler ve Chatbotlar ile katılımcıların %91'i temel yaşam desteği basamaklarındaki tüm sıralamayı

doğru olarak yerine getirmişlerdir. Katılımcıların tamamı olay yerinin güvenliğini kontrol edip 112'yi aramayı ihmal etmemiş ve katılımcılardan %62'si doğru kompresyon yapmıştır. Tüm süreçte 158 saniyelik bir ortalama süre, hızı için ise ortalama 100 kompresyon belirlendi. Kurtarıcılarının %33'ü Chatbotlar aracılığı ile yüksek kalitede CPR elde etmiştir (13). Acil yardım ekiplerinin özellikleri kadar kurtarıcının özellikleri de erken resüsitasyon için önemli bir faktördür. Soğukkanlılığını koruyabilen, duygusal açıdan daha kontrollü işbirlikçi kurtarıcılar, erken resüsitasyona başlama açısından daha faydalı olacaklardır. AI'nin bu tür kurtarıcılarını ses kaydından tanıyarak müdahale için yönlendirdiği bir çalışmada, AI'nin belirlediği kurtarıcılarının diğer kurtarıcılara göre resüsitasyona daha erken başlanıldığı görülmüştür (14).

AI'nin CPR Esnasında Kullanımı

Resüsitasyon esnasında göğüs kompresyonlarında kesintilerin olması resüsitasyonun kalitesini düşürmesi, sağ kalımı ve iyi nörolojik iyileşmeyi engellemektedir. Bu nedenle temel hedeflerden biri de kesintisiz göğüs kompresyonudur. Ancak defibrilasyonda artefaktlardan kurtulmak ve doğru karar verebilmek için çoğu zaman göğüs basıları kesintiye uğratılır. Bu sorunu çözme adına yapılan bir çalışmada İsviçre ve arkadaşları 3.319 elektrokardiyografi (EKG) ile geliştirilen AI ile CPR esnasında artefaktlardan arındırmaya çalıştı. Böylece şoklanabilir ve şoklanamaz ritimleri göğüs basısı yaparken de ayırt edebilmelerine imkân sağlamıştır (15). Jekova ve arkadaşları ise otomatik eksternal defibrilatörleri artefaktlardan kurtarmak için AI'yi kullanmış ve çalışma sonunda göğüs kompresyonları esnasında bile otomatik eksternal defibrilatörlerin doğru karar verdiğini gözlemlemiştir (16).

Alile Ölümcül Ritimlerin Önceden Belirlenmesi

Ölümcül taşikardilerin erken tanınması ve erken müdahale edilmesi resüsitasyonun başarısını artıracak önemli faktörlerdendir. Bu nedenle çeşitli yöntemler ile hastalarda taşikardilerin ön görülmesi sağlanması için AI programı kullanılabilir. Liu ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada AI programına 5.699 hasta için yaş, cinsiyet, yatış nedenini içeren elektronik sağlık kayıtları ve kardiyovasküler hastalık öyküsü tanımlandıktan sonra hastalarda kalp atış hızı, solunum hızı ve kan oksijen saturasyonu değerleri takip edildi. AI programı ile takip edilen hastalarda taşikardilerin 6 saat öncesinde tespit edilebileceği belirlenmiştir (17). Benzer şekilde Alanis ve arkadaşları AI programı ile implante edilebilen kardiyoverter defibrilatör (ICD)'li hastalarda kalp hızı değişkenliği, Prematür Ventriküler Kompleks (PVC) endeksleri, ani kardiyak ölüm ve ölümcül taşiaritmiyi önceden tespit edebileceğini göstermişlerdir (18). Thannhauser ve arkadaşları benzer şekilde AI programı kullanarak 206 ICD'li hastada akut Miyokard Enfarktüsü (MI) ve Ventriküler Fibrilasyonu (VF) erken evrede tanıyarak tedaviye erken başlanabileceğini göstermişlerdir (19).

AI ile Otomatik Ekstrenal Defibrilatörlerin Taşınması

Taşiaritmilerin erken tanınması kadar defibrilatöre erken ulaşmak da önemlidir. Bunun için Otomatik Ekstrenal Defibrilatörlerin (OED) yerini bilmek gerekir. Bunu sağlamak amacıyla son on yılda, OED'leri haritalamak ve bulmak için çok sayıda mobil uygulama ve web sitesi geliştirildi. Bu uygulamalar akıllı telefonun coğrafi konum özelliği sayesinde kullanıcının konumunu gerçek zamanlı olarak bulabilmekte ve yakındaki OED'leri, en yakın olana ulaşma talimatlarıyla birlikte görüntüleyebilmektedir. Ülkelerin %78'inde mevcut olan OED'leri haritalandırmaya yönelik uygulamalar ve web siteleri, OHCA durumunda en yakın OED'nin yerini tespit etmeye yardımcı olur. Dahası, bu sistemler vatandaşların yeni

OED'ler eklemesine veya topluluklar halinde mevcut olanların ayrıntılarını güncellemesine olanak tanır. Güncel bir OED kaydının oluşturulması ve sürdürülmesi toplumdaki farkındalığı artırır. Vatandaşların ilk müdahale ekiplerini uyararak için acil sevk merkezleri ve uygulamalarıyla koordine edildiğinde etkinlik oranı daha yüksek olabilir (20). Defibrilatöre erken ulaşmak için denenmiş yöntemlerden biri de uçan göz kullanmaktır. Claesson ve arkadaşları OHCA simülasyonunda OED'yi kurtarıcıya ulaştırmada uçan göz kullanımının acil yardım ekiplerinden daha hızlı gerçekleştiğini gözlemlemiştir (21). Ancak drone (uçan göz) uçuşlarının maliyeti, kaza olasılığı, uçan gözün ambulans sonradan gelme olasılığı, uçan gözün önceki görevden dönünceye kadar sonraki OHCA'lar için kullanılamaması gibi dezavantajları da vardır. Bu sorunların çözümü için Chu ve arkadaşları ambulans sevk merkezlerine benzer şekilde AI destekli uçan göz sevk merkezi kurulmasıyla OED sevkinin kısa sürede ve başarılı bir şekilde yapılabileceğini savunmuştur (22).

AI programı yapılan resüsitasyonun sonucunu ön görme konusunda da yardımcı olabilir. Kajino ve arkadaşları OHCA vakalarında resüsitasyonun sonlandırılmasına karar vermeye yönelik bir AI programı geliştirmiş ve retrospektif vakalarda bu program ile evrensel resüsitasyonu sonlandırma kurallarını karşılaştırmışlar ve AI programının evrensel resüsitasyonu sonlandırmada iyi bir performans gösterdiğini belirlemiştir (23). IHCA vakalarında resüsitasyon sonucunu ön görme için yapılmış çalışmalardan biri de Amacher ve arkadaşlarına aittir. Bu çalışmada Chatbotlardan biri olan ChatGPT programına hasta ile ilgili veriler girilerek bu hastanın IHCA sonrası prognozu soruldu. OHCA skoru, Kardiyak Arrest Hastane Prognozu (Cardiac Arrest Hospital Prognosis, CAHP) skoru ve erken evrelerdeki seçilmemiş yetişkin kardiyak arrest hastaları için logistik regresyon modeli kullanılarak prognostikasyon (PROgnostication using LOGistic regression model for Unselected adult cardiac arrest patients in the Early stages, PROLOGUE score) skoru ile kıyaslandı. ChatGPT-4'ün mortaliteyi ve kötü nörolojik sonuçları tahmin etme konusundaki prognostik performansının iyi olduğunu göstermişlerdir (24). AI yalnızca akut durumlarda değil aynı zamanda kronik iyileşme sürecini ön görmede de yardımcı olabilmektedir. Heo ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 1.207 (IHCA ve OHCA sonrası spontan dolaşımın geri döndüğü) vakayı değerlendirdi. Geliştirdikleri 4 AI programına hasta ile ilgili tıbbi kayıtları girerek 1 yıllık beyin performansı kategorisi (cerebral performance category, CPC) skoru ile karşılaştırdı. Geliştirdikleri programların hastaların 1 yıllık nörolojik durumlarını ön görmede CPC skoru kadar efektif olduğu gözlenmiştir (25).

Sonuç:

Tüm bu çalışmalar göz önüne alındığında yapay zekâ;

1. IHCA'nin öngörebilir ve kötüleşen hastaların belirlenmesini sağlayabilir,
2. Yaşamsal belirtilere ve laboratuvar sonuçlarına göre hastadaki bozulmayı daha erken tespit ederek IHCA'nin daha erken tahmin edilmesini sağlayabilir,
3. Tek derivasyonlu EKG kullanarak kalp durmasını tahmin etme olanağı sağlar,
4. Kalp ritmi bozukluğunu altı saate kadar önceden tahmin edebilir ve kalp durmasını öngörebilir
5. Uçan göz ile teslim edilen OED'ler, OED'nin sahaya ulaşması için gereken süreyi önemli ölçüde azaltabilir,
6. Tüm OHCA'lara uçan göz gönderen bir politika geliştirilebilir,
7. Resüsitasyon sırasında CPR'yi durdurma ihtiyacını ve şok vermenin optimum zamanlamasını ortadan kaldırabilir,

8. Yoğun bakımın ilk üç gününden itibaren klinik faktörleri ve biyobelirteçleri kullanarak OHCA sonrası hastalarda nörolojik prognozu iyiden mükemmele doğru tahmin etmede yardımcı olabilir,

Çıkar Çatışması: Yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.

Finansman kaynakları: Yazarlar tarafından herhangi bir finansman desteği kullanılmamıştır.

Etik Kurul Onayı: Gerekli değildir.

ORCID ve Yazar katkıları: F.T.: Veri toplama, tasarlama, işleme, uygulama, analiz, literatür taraması, yazma, eleştirel inceleme. T.K.: Veri toplama, tasarlama, işleme, uygulama, analiz, literatür taraması, yazma, eleştirel inceleme.

REFERENCES

- Alamgir A, Mousa O, Shah Z. Artificial Intelligence in Predicting Cardiac Arrest: Scoping Review. *JMIR Med Inform*. 2021; 17;9(12):e30798. doi: 10.2196/30798.
- Yan S, Gan Y, Jiang N, Wang R, Chen Y, Luo Z, Zong Q, Chen S, Lv C. The global survival rate among adult out-of-hospital cardiac arrest patients who received cardiopulmonary resuscitation: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care*. 2020; 22;24(1):61. doi: 10.1186/s13054-020-2773-2.
- Berdowski J, Berg RA, Tijssen JG, Koster RW. Global incidences of out-of-hospital cardiac arrest and survival rates: systematic review of 67 prospective studies. *Resuscitation*. 2010; 81(11):1479–87. doi: 10.1016/j.resuscitation.2010.08.006.S0300-9572(10)00432-6
- Chan PS, Krein SL, Tang F, Iwashyna TJ, Harrod M, Kennedy M, Lehrich J, Kronick S, Nallamothu BK, American Heart Association's Get With the Guidelines-Resuscitation Investigators. Resuscitation practices associated with survival after in-hospital cardiac arrest: a nationwide survey. *JAMA Cardiol*. 2016; 1(2):189–97. doi: 10.1001/jamacardio.2016.0073
- Blomberg SN, Folke F, Erbsbøll AK, Christensen HC, Torp-Pedersen C, Sayre MR, Counts CR, Lippert FK. Machine learning as a supportive tool to recognize cardiac arrest in emergency calls. *Resuscitation*. 2019;138:322–329. doi: 10.1016/j.resuscitation.2019.01.015.
- Byrsell F, Claesson A, Ringh M, Svensson L, Jonsson M, Nordberg P, Forsberg S, Hollenberg J, Nord A. Machine learning can support dispatchers to better and faster recognize out-of-hospital cardiac arrest during emergency calls: A retrospective study. *Resuscitation*. 2021; 162:218–226. doi: 10.1016/j.resuscitation
- Lee YJ, Cho KJ, Kwon O, Park H, Lee Y, Kwon JM, Park J, Kim JS, Lee MJ, Kim AJ, Ko RE, Jeon K, Jo YH. A multicentre validation study of the deep learning-based early warning score for predicting in-hospital cardiac arrest in patients admitted to general wards. *Resuscitation*. 2021; 22;163:78–85. doi: 10.1016/j.resuscitation.2021.04.013.
- Kwon JM, Lee Y, Lee Y, Lee S, Park J. An Algorithm Based on Deep Learning for Predicting In-Hospital Cardiac Arrest. *J Am Heart Assoc*. 2018; 7(13):e008678. doi: 10.1161/JAHA.118.008678.
- Park SJ, Cho KJ, Kwon O, Park H, Lee Y, Shim WH, Park CR, Jhang WK. Development and validation of a deep-learning-based pediatric early warning system: A single-center study. *Biomed J*. 2022; 45(1):155–168. doi: 10.1016/j.bj.2021.01.003.
- Jang DH, Kim J, Jo YH, Lee JH, Hwang JE, Park SM, Lee DK, Park I, Kim D, Chang H. Developing neural network models for early detection of cardiac arrest in emergency department. *Am J Emerg Med*. 2020; 38(1):43–49. doi: 10.1016/j.ajem.2019.04.006.
- Haro Alonso D, Wernick MN, Yang Y, Germano G, Berman DS, Slomka P. Prediction of cardiac death after adenosine myocardial perfusion SPECT based on machine learning. *J Nucl Cardiol*. 2019; 26(5):1746–1754. doi: 10.1007/s12350-018-1250-7.
- Lee SY, Song KJ, Shin SD, Hong KJ, Kim TH. Comparison of the effects of audio-instructed and video-instructed dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation on resuscitation outcomes after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 2020; 1(147):12–20. doi: 10.1016/j.resuscitation.2019.12.004.
- Otero-Agra M, Jorge-Soto C, Cosido-Cobos ÓJ, Blanco-Prieto J, Alfaya-Fernández C, García-Ordóñez E, Barcala-Furelos R. Can a voice assistant help bystanders save lives? A feasibility pilot study chatbot in beta version to assist OHCA bystanders. *Am J Emerg Med*. 2022; 61:169–174. doi: 10.1016/j.ajem.2022.09.013.
- Chin KC, Hsieh TC, Chiang WC, Chien YC, Sun JT, Lin HY, Hsieh MJ, Yang CW, Chen AY, Ma MH. Early recognition of a caller's emotion in out-of-hospital cardiac arrest dispatching: An artificial intelligence approach. *Resuscitation*. 2021; 167:144–150. doi: 10.1016/j.resuscitation.2021.08.032.
- Isasi I, Irueta U, Aramendi E, Eftestøl T, Kramer-Johansen J, Wik L. Rhythm Analysis during Cardiopulmonary Resuscitation Using Convolutional Neural Networks. *Entropy (Basel)*. 2020; 22(6):595. doi: 10.3390/e22060595.
- Jekova I, Krasteva V. Optimization of End-to-End Convolutional Neural Networks for Analysis of Out-of-Hospital Cardiac Arrest Rhythms during Cardiopulmonary Resuscitation. *Sensors (Basel)*. 2021; 21(12): 4105. doi: 10.3390/s21124105.
- Liu X, Liu T, Zhang Z, Kuo PC, Xu H, Yang Z, Lan K, Li P, Ouyang Z, Ng YL, Yan W, Li D. TOP-Net Prediction Model Using Bidirectional Long Short-term Memory and Medical-Grade Wearable Multisensor System for Tachycardia Onset: Algorithm Development Study. *JMIR Med Inform*. 2021; 9(4):e18803. doi: 10.2196/18803.
- Martinez-Alanis M, Bojorges-Valdez E, Wessel N, Lerma C. Prediction of Sudden Cardiac Death Risk with a Support Vector Machine Based on Heart Rate Variability and Heartprint Indices. *Sensors (Basel)*. 2020; 20(19):5483. doi: 10.3390/s20195483.
- Thannhauser J, Nas J, Rebergen DJ, Westra SW, Smeets JLRM, Van Royen N, Bonnes JL, Brouwer MA. Computerized Analysis of the Ventricular Fibrillation Waveform Allows Identification of Myocardial Infarction: A Proof-of-Concept Study for Smart Defibrillator Applications in Cardiac Arrest. *J Am Heart Assoc*. 2020; 9(19):e016727. doi: 10.1161/JAHA.120.016727.
- Scquizzato T, Burkart R, Greif R, Monsieurs KG, Ristagno G, Scapigliati A, Semeraro F. Mobile phone systems to alert citizens as first responders and to locate automated external defibrillators: A European survey. *Resuscitation*. 2020; 151:39–42. doi: 10.1016/j.resuscitation.2020.03.009.
- Claesson A, Backman A, Ringh M, Svensson L, Nordberg P, Djärv T, Hollenberg J. Time to Delivery of an Automated External Defibrillator Using a Drone for Simulated Out-of-Hospital Cardiac Arrests vs Emergency Medical Services. *JAMA*. 2017; 317(22):2332–2334. doi: 10.1001/jama.2017.3957.
- Chu J, Leung KHB, Snobelen P, Nevils G, Drennan IR, Cheskes S, Chan TCY. Machine learning-based dispatch of drone-delivered defibrillators for out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 2021; 162:120–127. doi: 10.1016/j.resuscitation.2021.02.028.
- Kajino K, Daya MR, Onoe A, Nakamura F, Nakajima M, Sakuramoto K, Ong MEH, Kuwagata Y. Development and validation of a prehospital termination of resuscitation (TOR) rule for out of hospital cardiac arrest (OHCA) cases using general purpose artificial intelligence (AI). *Resuscitation*. 2024;197:110165. doi: 10.1016/j.resuscitation.2024.110165.
- Amacher SA, Arpagaus A, Sahmer C, Becker C, Gross S, Urben T, Tislar K, Sutter R, Marsch S, Hunziker S. Prediction of outcomes after cardiac arrest by a generative artificial intelligence model. *Resusc Plus*. 2024; 22;18:100587. doi: 10.1016/j.resplu.2024.100587.
- Heo JH, Kim T, Shin J, Suh GJ, Kim J, Jung YS, Park SM, Kim S; For SNU CARE investigators. Prediction of Neurological Outcomes in Out-of-hospital Cardiac Arrest Survivors Immediately after Return of Spontaneous Circulation: Ensemble Technique with Four Machine Learning Models. *J Korean Med Sci*. 2021; 36(28):e187. doi: 10.3346/jkms.2021.36.e187.