.

Role of Artificial Intelligence and Machine Learning in Interventional Cardiology

Dr. Ömer Işık

Role of Artificial Intelligence and Machine Learning in Interventional Cardiology

Hazırlayan: Dr. Ömer Işık
Fırat Üniversitesi Tıp Fakültesi, Kardiyoloji Anabilim Dalı

1. **Makalenin Adı:** Role of Artificial Intelligence and Machine Learning in Interventional Cardiology
2. **Makalenin Yayınlandığı Dergi:** Current Problems in Cardiology
3. **Makalenin Yayınlandığı Tarih :** Temmuz 2023
4. **Özet:**

Yirmi yıllık teknolojik süreçler ve yeniden şekillendirme ile yönlendirilen sağlık verilerinin dinamik kalitesi, hesaplama gücünün ilerlemesiyle birleşerek yapay zekada (AI) hızlı bir ilerlemeye olanak sağlamıştır. Girişimsel kardiyolojide yapay zeka, elektrokardiyogram, ekokardiyografi, bilgisayarlı tomografi anjiyografi, manyetik rezonans görüntüleme ve elektronik hasta verilerinden veri yorumlama ve otomatik analiz yapma, klinik karar desteği, girişimsel kardiyoloji prosedürlerinde hasta güvenliğini artırmaya ve prognostik ve tanısal varsayımlarda bulunmaya yardımcı olmaktadır.

Robot destekli perkütan koroner girişim, koroner arter iskemisinin ve intravasküler ultrasonda (IVUS) plak yükünün fonksiyonel ve kantitatif değerlendirmesi ile birlikte yapay zekanın başlıca uygulamalarıdır. Makine öğrenimi algoritmaları bu uygulamalarda kullanılmaktadır ve müdahalede yol gösterici olmaktadır.

5. **Giriş**

Günümüzde, girişimsel kardiyoloji uzmanlığı, hekimlerin biyomedikal mühendisliği, görüntüleme ve biyofizik teknolojisiyle işbirliği yapmasıyla girişimsel kardiyoloji tıp pratiğinde etkili ve hayati bir alan haline gelmiştir. Prosedürlerin sayısı arttıkça, yeniliklerin kapsamı ve faydaları da artar.

Bu nedenle, tedavi etkinliğine odaklanmanın yanı sıra güvenli protokoller uygulayarak hastalıkların önlenmesine ve daha iyi olmalarına da odaklanmak zorundadır. Yapay zeka alanındaki son teknolojiler, kardiyolojideki devam eden gelişmeleri hızlandırabilir ve geliştirebilir.

Floroskopinin kullanımı girişimsel kardiyolojide çok önemli bir araç olmuştur ve yeni teknoloji, iki boyutlu (2D) floroskopi görüntülemenin sınırlamalarının üstesinden gelmek için birçok yeni teknik getirmiştir.
İnsanlar tarafından kontrol edilen yardımcı robotlar ve kardiyovasküler görüntüleme yöntemleri, kateterizasyon laboratuvarlarında ve ameliyathanelerde kullanılmaktadır.

Bu gelişmeler girişimsel kardiyoloji açısından önemlidir, çünkü çalışmalar robot yardımlı PCI'nin (R-PCI) kateterizasyon laboratuvarlarında çalışan personelin radyasyona maruz kalmasını önemli ölçüde azalttığını göstermiştir.
Gelişmiş hesaplama gücünün yardımıyla veri depolama ve verimli çıkarma kapasitesi, hasta bakımını iyileştirmeye ve genel sağlık hizmetleri maliyetlerini azaltmaya yönelik bir dizi yapay zeka uygulamasına yol açtı. Son zamanlarda, deep learning (DL), deep neural networks (DNN) çeşitli yapılarını yürüten machine learning (ML) ve artificial intelligence (AI) tüm dallarında umut vaat ediyor.
Elektrokardiyogram (EKG) verileri ve anjiyografi video/görüntü işlemeye ek olarak, makine destekli elektronik sağlık kayıtları ve genetik mühendisliği, mortalite, kardiyovasküler hastalıklar (KVH) ve bunların birincil önlenmesi dahil olmak üzere olumsuz sonuçları tahmin etmek için kullanılmıştır.

Örneğin yapay zekanın kateterizasyon laboratuvarlarında uygulanması, bilgisayarlı tomografi anjiyografi (CTA) kılavuzluğunda fraksiyonel akış rezervinin (FFR) modellenmesiyle başladı. Koroner anjiyografiye uygulanabiliyorsa, potansiyel olarak prosedürü hızlandırabilir, genel radyasyon maruziyetini azaltabilir ve işlemde kılavuz tele rehberlik ederek işlem ile ilgili komplikasyonları azaltabilir.
Algoritmalar kullanılarak dikkate değer gelişmeler elde edilmesine rağmen görüntü ve video işlemede, robotik yardımda ve klinik karar vermede ritimler ve sistematik analiz yöntemleri şu anda çok temel düzeyde uygulanmaktadır. Ancak girişimsel kardiyoloji uzmanlığında devrim yaratacak bu tür araçların benimsenmesindeki değişiklikler doktorlardan ve kardiyologlardan gelmelidir. Bu derleme, ML'nin günlük kardiyoloji pratiğinde uygulanmasına ışık tutmayı amaçlamaktadır. Öncelikle ML teknikleri ve bunların girişimsel kardiyolojideki uygulamalarına genel bir bakış sunuyor; daha sonra girişimsel kardiyoloji uzmanlığında ML tekniklerine ilişkin geleceğe yönelik perspektifler göstereceğiz.

5.1) Makine ve Derin Öğrenme Ana Hatları

Tek bir geliştirilmiş algoritmayla programlanmış olan ve geçerli klinik araştırmalara dayalı verilere dayanarak sonuç üreten geleneksel kural tabanlı yapay zeka sistemlerine kıyasla, data-directed AI sistemler yeni veriler, sonuçlar ve eylemler oluşturmak için bütünleştirici büyük veri kümeleri ve karmaşık istatistiksel denklemler kullanır.

Bu programlar önceden belirlenmiş çıktılar üretmek üzere tasarlanmamıştır ancak insan etkileşimi olmadan karar verme ve anlama becerisine sahip, eğitimli bir tahminde bulunabilir.

AI alanında ML teknikleri ile istatistik modelleri arasında bir örtüşme bulunmaktadır ve genellikle istatistik modellerinin veri odaklı analiz ve raporlama ürettiği ML'nin ise bir olayın tahmin edilmesi ve sisteme verilen görev için veri temsilini iyileştirme ile ilgilendiği anlaşılmaktadır.

Veri odaklı yapay zeka birimleri çeşitli makine öğrenimi modellerine sahiptir supervise (denetimli), semisupervised (yarıdenetimli), unsupervised (denetimsiz), reinforcement (pekiştirmeli).

Supervised ML, eğitim veri setindeki potansiyel matematiksel veya kesin sonuçları hizalayan ve tahmin eden sürekli algoritmalar ve özelliklerden oluşur. Yeterli şekilde eğitildikten sonra bu modeller, eğitim setlerinden (örnek vakalar) elde edilen sonuçları tahmin etmek için kullanılabilir. Kardiyovasküler hastalıklarda (KVH) supervised öğrenme algoritmaları büyük kümelerdeki modelleri tanıyabilir ve tahmin edebilir, bunları uzmanlar tarafından doğrulayabilir ve ilgilenilen bir alanın (EKG'de atriyal fibrilasyon veya stenoz derecesi) varlığını veya yokluğunu belirleyebilir.

Öte yandan unsupervised öğrenme büyük miktarda etiketlenmemiş veriyi analiz ederek, bu verilerin varlığını yöneten temsili tasarım arasında bir hastalık ilişkisi arar. Kardiyoloji pratiğinde, denetimsiz modellerin kısmi etkileşimlerin ötesinde değişkenler için nedensel bir ilişkiyi tahmin edebildiği ve KVH için risk faktörlerini öngörebildiği gösterilmiştir.
Semi-supervised öğrenme de ise veriler kısmen işlenir. Supervised ML'de overfitting aşırı uydurma meydana gelebilir. Overfitting makine öğrenimi modelinin eğitim veri setine çok fazla uyum sağlayarak, eğitim verileri üzerinde iyi performans göstermesine rağmen, yeni ve görülmemiş verilerle karşılaşıldığında performansının düşmesi durumudur.

Semi-supervised öğrenme, bir görev için geliştirilmiş bir ML modelini başlangıç noktası olarak kullanarak aşırı uydurmaya çözüm bulmak için kullanılabilen başka bir yarı denetimli stratejidir.
Reinforcement ML modelinde, bir model, bir çevreyle etkileşim halinde bulunarak, belirli bir hedefi veya amaç fonksiyonunu maksimize etmek için en uygun eylemleri öğrenmeye çalışır. Bu eylemler, çevreden gelen geri bildirimlere (ödüller veya cezalar) dayanarak ayarlanır ve optimize edilir. Bu süreç, deneme yanılma yoluyla gerçekleşir, yani model, çevreyle etkileşimlerden elde ettiği deneyimlerden öğrenir ve bu deneyimlere dayanarak daha iyi kararlar alır.

Deep learning (DL) algoritmaları, invaziv koroner prosedürlerin açıklanmasını, anormal koroner arterlerin aydınlatılmasını, kalp anatomisinin tanımlanmasını, koroner damarların segmentasyonunu, koroner stenozun lokalizasyonunu ve şiddetinin değerlendirilmesini başarmak için kullanılabilir.

Ancak, birçok uygulamaya rağmen girişimsel kardiyolojide farklı düzeylerde bilinçli karar vermeyi sağlayacak DL ve YSA uygulamalarına ilişkin tutarlılık eksikliği bulunmaktadır. Geniş bir anlayış ihtiyacından yola çıkan bu inceleme, DL'nin çeşitli uygulamalarını bir araya getirdi.
Ancak literatür, girişimsel kardiyolojide DL ve YSA'nın mevcut uygulamalarının sınırlı olduğunu ve genellikle spesifik koroner arter veya kapaktan ziyade kolektif bir hastalığa odaklandığını ileri sürmektedir.

Ancak, birçok uygulamaya rağmen girişimsel kardiyolojide farklı düzeylerde bilinçli karar vermeyi sağlayacak DL ve artificial neural network (ANN) uygulamalarına ilişkin tutarlılık eksikliği bulunmaktadır. Bu inceleme, DL'nin çeşitli uygulamalarını bir araya getirdi. Ancak literatür, girişimsel kardiyolojide DL ve ANN'nin mevcut uygulamalarının sınırlı olduğunu ve genellikle spesifik koroner arter veya kapaktan ziyade kolektif bir hastalığa odaklandığını ileri sürmektedir.

Son fakat bir o kadar da önemlisi, örneklem büyüklüğüyle ilgili bir sorun var. ANN küçük örneklem boyutlarıyla (birkaç girdi/değişken) iyi çalışmaz. Bu nedenle, çok büyük bir deneysel program düşünülmediği sürece, nispeten küçük deneysel veriler nedeniyle, çoğu deneysel veri ANN tarafından yorumlanamaz.

5.2) Makine ve Derin Öğrenme Algoritmaları ve Kardiyovasküler Uygulamalar
Decision trees (DTs) regresyon ve sınıflandırma için kullanılan denetimli öğrenme süreçleridir.
Random forests (RFs) eğitim sırasında aşırı uydurmaya karşı koymak için kullanılan bir multiple DTs'dir. Diğer DT toplulukları arasında aynı sorunu ortadan kaldıran degrade destekli ağaçlar (LogitBoost ve XGBoost) bulunur.

Geleneksel KV risk belirteçleriyle karşılaştırıldığında, koroner arter hastalığı da dahil olmak üzere kardiyovasküler sonuçların öngörü değerini test etmek için bir RF modeli kullanıldığı bir çalışma, RF modelinin, yüksek pozitif tahmin değeri ve teşhis doğruluğu ile belirlenmiş risk puanlarından üstün olduğunu gösterdi.
Başka bir çalışma, RF yöntemlerinin, lojistik regresyon analizi ile birleştirildiğinde, kalp yetersizliği hastanesine yatış sonrası tekrar yatışın daha iyi bir öngörüsünü sağladığını ve tekrar yatış oranlarındaki üstün öngörü aralığını sergilediğini gösterdi.
Benzer şekilde, başka bir çalışma, CTA (bilgisayarlı tomografi anjiyografi) uygulanan hastalarda tüm nedenlere bağlı mortaliteyi (5 yıl) tahmin etmek için LogitBoost kullanmıştır. Mevcut CTA metrikleri ile karşılaştırıldığında, bu uygulama geleneksel verilerden daha iyi bir sonuç elde edildi.
Prognostik tahmin ve risk sınıflaması, akut miyokard enfarktüsü geçiren yüksek riskli hastaları belirlemede önemlidir. Geleneksel miyokard enfarktüsü (MI) risk skorları (TIMI ve GRACE), standart istatistiksel yöntemlere dayanır ve veri kaybı potansiyeli bulunmaktadır. Bununla birlikte, XGBoost modeli, neden-sonuç ilişkilerini karmaşık bir şekilde tanımlayarak kesin bir mortalite oranı sergilemektedir.

Support vector machines (SVM), regresyon analizi için kullanılan diğer popüler bir denetimli öğrenme algoritmasıdır. Erken teşhis çok önemli olduğundan, semptomlardan önce mitral yetersizliğinin prevalansını tahmin etmek için SVM'yi kullanan az

sayıda çalışma vardır. Bu SVM modelinin radyal temel işlevi, ekokardiyografi videolarını kullanarak normal, hafif, orta ve şiddetli MR arasında ayrım yapabilir.

Benzer şekilde, bir çalışmada transkateter aort kapak implantasyonu için XGBoost, RF ve SVM dahil olmak üzere çeşitli ML algoritmaları ve hastaların faydalı sonuçları için ML tekniklerinin doğruluğu kullanıldı.

Regulerarized regression ve K-means clustering, etiketlenmemiş bir veri kümesini ayrı kümeler halinde sınıflandıran denetimsiz öğrenme algoritmalarıdır.

İlki, Mitra-Clip uygulanan hastalarda 1 yıllık mortaliteyi hesaplamak için lasso-penalized Cox proportional hazard regression modelinde kullanılmıştır. The K-means cluster, QRS komplekslerinin tespitine yönelik bir çalışmada kullanıldı.
Diğer ML modelleri, principal componenet analysis, shallow neural networks ve deep fullu connected neural networks içerir. Bunların tümü, görüntüleme ve nükleer tıpta, miyokardiyal perfüzyon SPECT'inden koroner arter iskemisinin saptanması ve temel bileşen analizi kullanılarak dolaşım sisteminden hemodinamik verilerin saptanması için uygulanabilir.

Bunların tümü, görüntüleme ve nükleer tıpta, miyokardiyal perfüzyon SPECT'inden koroner arter iskemisinin saptanması ve temel bileşen analizi kullanılarak dolaşım sisteminden hemodinamik verilerin saptanması için uygulanabilir.

5.3) Yapay Zekanın Girişimsel Kardiyolojide Uygulanması
ML, görüntünün yeniden yapılandırılmasını, yorumlanmasını ve analizini etkileme potansiyeline sahiptir. Görüntü analizinin büyük verileri ve özel görüntüleme yazılımları, görüntü yorumlamada daha fazla anatomik tasarım sağlamış, bu da süreci basitleştirmiştir.
Bir çalışma, tamamen bağlı neural networks modeline dayalı olarak anjiyografinin tanınmasına yönelik DL teknolojisinin ön sonuçlarını gösterdi.
Eğitim verileri 3990 görüntü kullanılarak oluşturuldu ve değerlendirme için 2711 görüntü kullanıldı. Modelin etkinliğini değerlendirmek için hatırlama oranı ve kesinlik değerlendirildi. Diseksiyon, kalsifikasyon, trombüs ve çap darlığı için doğruluk oranları sırasıyla %85,8, %82,6, %85,5 ve %88,2 idi.
Benzer şekilde başka bir çalışmada, koroner anjiyogramların tam otomatik diyastol sonu kardiyak faz yorumlanmasına yönelik ML tabanlı bir model değerlendirildi. 17.800 anjiyogram kullanılarak derin bir NN ile eğitildi ve 27.900 anjiyogram kullanılarak değerlendirildi. Kardiyak fazın doğruluğu %92,6 ve özgüllüğü %92,9 idi.

Emory Üniversitesi'nden bilim insanları, intravasküler ultrason (IVUS) görüntülerini segmente etmek için bir makine öğrenimi algoritması geliştirdiler. Eğitimden sonra, uzman bir analist ile lümen alanını ve plak yükünü otomatik olarak hesaplama konusunda mükemmel uyum gösterdi. Bu öğrenme yöntemi, kateterizasyon laboratuvarlarında ilerde kullanılabilecek bir öğrenme yöntemidir.
Koroner stenozun anatomik ve fonksiyonel sorgulanması artık DL kullanan noninvazif görüntülemeyle mümkündür.
ML algoritmaları, DL ve bilgisayarlı görmeyi kullanarak işlevsel açıdan önemli koroner stenozu tespit edebilir ve bu da anjiyografiye dayalı FFR'nin 3 boyutlu (3D) değerlendirmesine yol açar.
Son zamanlarda, bir uygulama (TrueFusion), yapısal kalp hastalığı müdahalelerinde gelişmiş karar verme için ekokardiyografik ve anjiyografik görüntüleme entegrasyonu için Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) onayı aldı.

Bu uygulama, anjiyografik ve ekokardiyografik görüntüleri birleştirerek, girişimsel kardiyologların yumuşak dokuya dayalı yapıları tanımlamalarını sağlayan bir makine öğrenimi modeline sahiptir. Bu, özellikle zorlu işlemler için daha akıllı bir anatomik yönlendirme elde etmeye olanak tanır. Bu, floroskopi süresini, kontrast kullanımını ve toplam işlem süresini azaltabilir.
CEREBRIA-1 adlı bir çalışma, basınç telinin geri çekilmesine ilişkin hesaplama verilerinin, PCI veya PCI stratejisinin belirlenmesi doğruluk oranının uzman kararından daha düşük olmadığını göstermiştir.

EKG, vücudun elektriksel aktivitesini değerlendirmek için kullanılan noninvaziv bir testtir. Son yirmi yılda, bu konuda oldukça geniş bir literatür oluşmuştur. Normal ve anormal EKG paternlerinin sınıflandırılması üzerine mevcut makine öğrenimi algoritmaları kullanarak. Böyle bir çalışmada, potansiyel olarak hayatı tehdit eden ventriküler aritmiler. Genel erişim EKG veritabanları veri kümelerini eğitmek, test etmek ve doğrulamak için kullanıldı ve test doğruluğu 96,3, duyarlılık ve özgüllük %96,2'diydi.

Bir başka araştırma, hayatı tehdit etmeyen EKG atımlarını bir convolutional neural network kullanarak 5 sınıfa (nonektopik, supraventriküler ektopik, ventriküler ektopik, füzyon ve bilinmeyen) ayırmıştır.

Araştırmacılar, önerilen algoritmanın standart en son teknoloji yöntemlerinden daha iyi doğruluk ve daha yüksek hesaplama verimliliği elde ettiğini buldular. Bazı uygulamalarda, derin öğrenme algoritmaları geleneksel makine öğrenimi modellerini aşarken, bazen birleştirilmiş bir makine öğrenimi modeli üzerinde derin öğrenme modeliyle eşit derecede iyi veya daha iyi çalışırlar. Örneğin, derin öğrenme yöntemleri, geleneksel makine öğrenimi algoritmaları ile karşılaştırıldığında QRS tepe tespiti uygulamalarında iyi performans gösterir.

5.4) Artırılmış Gerçeklik ve Fiziksel Yapay Zeka Uygulamaları

Artırılmış gerçeklik teknolojik olarak yapay zekadan farklıdır, ancak bu iki modalitenin bir arada kullanılması girişimsel kardiyoloji için kullanılabilir. Sanal gerçeklik programları, yapısal kalp hastalığı müdahalelerinde önceden prosedür planlaması için kullanılır. FDA onaylı True 3D uygulaması, hastaya özgü anatomiyi etkileşimli sanal gerçeklik formatında sunan bir uygulamadır. Benzer programlar, müdahale öncesi veya periprocedural önemli bilgileri, müdahaleciyi çevreleyen birden fazla ekranda göstererek, vakayı başlatmadan önce beklentiler hakkında bir fikir edinmek için kullanılabilir. Birçok

bilgisayar ve akıllı telefon uygulaması, şu anda konuşmaları insan doğruluğunu aşacak şekilde geliştirilen yapay zeka konuşma tanıma kullanmaktadır. Bunlar arasında Apple'ın Siri, Amazon'un Alexa ve Google Assistant bulunmaktadır. Ses, klavyelerde yazmaktan daha pratik ve hızlıdır. Yapay zeka destekli sanal asistanlar, çoklu modal veri girişini işleyebilir ve bunları kardiyoloğa anlamlı bir şekilde sunabilir.

Prosedür otonomisi aracılığıyla, yapay zeka, kateter laboratuvarlarında robotik kullanımında prosedür süresindeki varyasyonu azaltarak ve hasta bakımını iyileştirerek potansiyel bir rol oynayabilir. R-PCI umut vaat ediyor olsa da, gerçek dünya kateter laboratuvarlarında uygulanmasının belirli sınırlamaları vardır. Mevcut yapay zekanın gösterdiği anatomiyi anlamadığı veya müdahalecinin ne yapmayı amaçladığını kavrayamadığı için başlıca bir sorundur. Ancak gelecekte, bilgisayar görüsü ve görüntü analizi yoluyla yapay zeka anlayışımızı geliştirmek mümkün olacaktır.

Prosedürel otonomi aracılığıyla, yapay zeka kateterizasyon laboratuvarlarında robotik kullanımına potansiyel bir rol oynamış olabilir, prosedür süresindeki varyasyonu azaltarak ve hasta bakımını iyileştirerek. R-PCI umut vaat ediyor olsa da, gerçek dünya kateterizasyon laboratuvarlarında uygulanmasının belirli sınırlamaları bulunmaktadır. Bu durumun temel nedeni, mevcut yapay zekanın gösterdikleri anatomiyi anlamaması veya müdahalecinin ne yapmayı amaçladığını kavramamasıdır. Ancak, gelecekte bilgisayar görüşü ve görüntü analizi aracılığıyla yapay zeka anlayışımızı geliştirmek mümkün olacaktır. Tamamen otonom robotik koroner prosedürlerinin uygulanmasına kadar uzun bir yol olmasına rağmen, artırılmış gerçeklik destekli girişimsel kardiyoloji, AI aracılığıyla öğrenme eğrilerini aşmalarına izin vererek gelişebilir. Ayrıca, robotlar, kateterizasyon laboratuvarlarının dışında uzaktan müdahale için de yararlı olabilirler. Müdahaleden sonra rehabilitasyon, dezenfeksiyon, tedarik zincirleri ve yaşlı yardımı konularında yardımcı olabilirler. Robotik teknolojinin girişimsel kardiyoloji alanındaki gerçek potansiyeli henüz tam olarak görülmemiştir; bu nedenle, şu anda bunu tahmin etmek zordur.

5.6) Etik Konular

Sağlık alanında yapay zekanın ezici faydalarının yanı sıra, hasta verilerinin finansal amaçlarla sömürme eğilimi bulunmaktadır. Bu konular, makine öğreniminin potansiyel avantajlarıyla birlikte kabul edilmeli ve tartışılmalıdır. Hasta onayı olmadan sağlık verilerinin kamuya açık olması uygun olmayabilir. Ancak, büyük verilerin yapay zeka içinde birleştirilmesi, özel şirketlerin veri paylaşımı yoluyla sigorta şirketleriyle bu verileri kullanarak finansal kazanç elde etme potansiyeli taşımaktadır. Bu, hastaların ihtiyaçları ve yönetimi konusunda bu verileri istismar edebilecek bir potansiyeli beraberinde getirebilir. Veri gizliliği, veri koruma kurumları için endişe verici bir konudur. Ancak, birçok ülkede veri koruma amacına yönelik yasal bir bağlam bulunmamaktadır. Hasta verilerinin sömürülmesine ilişkin rehberlik eksikliği, uluslararası tıp dernekleri tarafından ele alınmalıdır ve araştırmacılar ile şirketler, kendilerine güvenilen veriler konusunda sorumluluk almalıdır.

Yapay zekanın geliştirilmesi ve uygulanması, girişimsel kardiyolojide bir dizi zorluk ortaya koymaktadır. Çağdaş teknolojilerde ele alınması en zor konulardan biri şeffaflık ve müdahaleciler için doğru verilerin belirlenmesidir.

6) Sonuç

Bu makalede, kateterizasyon laboratuvarlarında hasta bakımını iyileştirmek için kullanılan veya kullanılmakta olan başlıca makine öğrenimi tabanlı sistemleri tartışıyoruz. Makine öğrenimi ve derin öğrenme, sağlık hizmetlerinde, tıp uygulamalarında ve doktor-makine etkileşimlerinde bir paradigma değişikliği başlattı. Yavaş yavaş alanlarını klinik veritabanlarına, görüntü ve video işleme ve analizi, klinik karar destek sistemleri ve robotlara genişletmiştir. Makine öğrenimi karmaşık veri kümeleri içinde yapıları bulabildiğinden, uygulaması kardiyoloji pratiğinde hasta bakımını iyileştirebilir. Ancak, makine öğrenimi önyargıya meyillidir ve yorumlaması zordur. Ayrıca, kullanılabilir hale gelmeden önce girişimsel kardiyolojide makine öğrenimi tabanlı algoritmaların kullanılabilirliği ile ilgili sigorta şirketlerinin sorumluluk ve çıkar çatışması gibi sorunlar bulunmaktadır.