

“Electrocardiogram-based Deep Learning Algorithm for the Screening of Obstructive Coronary Artery Disease” Çalışma Değerlendirmesi

Dr. Ömer IŞIK

“Electrocardiogram-based Deep Learning Algorithm for the Screening of Obstructive Coronary Artery Disease” Çalışma Değerlendirmesi

Hazırlayan: Dr. Ömer IŞIK

Fırat Üniversitesi, Kardiyoloji Anabilim Dalı, Elazığ

1) Makalenin Adı:Electrocardiogram-based deep learning algorithm for the screening of obstructive coronary artery disease

2) Makalenin Yayınlandığı Dergi: BMC Cardiovascular Disorders

3) Makalenin Yayınlandığı Tarih :Haziran 2023

Elektrokardiyogram (EKG), akut miyokard enfarktüsünün (AME) tanısında biyobelirteçlerle birlikte kullanılan temel bir unsurdur: troponin seviyesindeki yükselme, en az bir değerin %99'uncu üst referans sınırlama değerinin üzerinde olmasıyla belirlenir. Acil servislerde, AME ST-segment yükselmesi olan (STEMI) ve yükselme olmayan (non-STEMI) olarak sınıflandırılır. STEMI acil perfüzyon tedavisi gerektirirken, non-STEMI, EKG göstergesine göre erken müdahale veya elektif tedavi gerektirir. Ayrıca, miyokard enfarktüsünün süresi, yaygınlığı ve yeri gibi bilgiler sağlar, ancak başlangıçtaki EKG genellikle tanısız değildir ve ardışık EKG takiplerini gerektirir.

Öte yandan, istirahat halindeki 12 derivasyonlu EKG, stabil göğüs ağrısı ve şüpheli anjina pectoris olan hastalarda koroner arter hastalığını (KAH) taramak ve teşhis etmek için kritik bir öneme sahip olmamıştır, fakat ilk değerlendirme için vazgeçilmezdir.

JACC kılavuzlarına göre stabil göğüs ağrısı olanlara tanısız testler yapılırken obstrüktif koroner arter hastalığı ihtimali göz önüne alınmalıdır. KAH şüphesi olan hastalarda, ESC kılavuzlarına göre yaş, cinsiyet ve semptomlar kullanılarak test öncesi olasılık tahmin edildikten sonra temel testler (laboratuvar biyokimyasal testler, istirahat EKG, ekokardiyografi ve olası ambulator EKG izlemi) hangi hastaların taranıp hangilerinin ertelenebileceğini belirlemek için kullanılmıştır.

Şüpheli KAH'ı olan hastalarda temel testler (laboratuvar biyokimyasal testler, istirahat EKG, ekokardiyografi ve olası ambulator EKG izlemi), yaş, cinsiyet ve semptomlar kullanılarak tahmin edildikten sonra, kimin taranması gerektiğini veya ertelenebileceğini belirlemek için kullanılmıştır. Diğer yandan, istirahat EKG alındıktan sonra obstrüktif koroner arter hastalığı (ObCAD) olasılığı nicelendirilemez ve istirahat EKG'sinden ne kadar bilginin ObCAD tanı testlerinin klinik kararına katkıda bulunabileceği belirsizdir.

Son zamanlarda, derin öğrenme (DL) algoritmaları, EKG sinyallerini kullanarak AMI'yi tespit etmede mükemmel performans sergilemiştir. Bir derleme çalışması, 11 DL tabanlı modelde normal ve AMI tespiti için doğruluğun %80.6 ila %99.9 arasında değiştiğini göstermiş, diğer bir derleme çalışması ise altı DL modelinde %83 ila %99.9 arasında olduğunu göstermiştir. Önceki çalışmalar, DL yaklaşımlarının AMI ve diğer kardiyovasküler hastalıkları tespit etmede potansiyelini göstermesine rağmen, az sayıda çalışma DL algoritmalarını ObCAD hastalarının taramasında EKG bilgilerini kullanmak için kullanmıştır.

Bu durum, her ikisi de KAH kategorisinde yer alsa da, ObCAD ve AMI arasındaki patofizyoloji ve EKG değişiklikleri arasındaki farklılıklardan kaynaklanabilir. ObCAD genellikle aterosklerozun neden olduğu karakteristik EKG bulguları olmayan ya da hafif EKG değişiklikleri olan, koroner arterlerin progresif daralmasıdır, halbuki AMI genellikle tromboz tarafından koroner arterin akut tıkanması sonucu miyokard nekrozu ve daha belirgin EKG değişiklikleri ile sonuçlanır. Bu nedenle, önceki bir çalışmada, ortak bir DL modeli, teşhis sırasında AMI ve iskemiye göre ayrılmış iki alt grub arasında tamamen farklı bir ayrım göstermiştir (0.973 ve 0.566 AUC).

Bu nedenle, göğüs ağrısı ve ObCAD şüpheli hastalarında ileri inceleme gerekliliğini önermek için EKG kullanılarak bir DL tabanlı model geliştirildi. Ayrıca, modelin ObCAD taraması için geçerliliğini test etmek ve AMI'ninki ile karşılaştırmak için performansı değerlendirildi.

4) Materyal ve Yöntemler Veri Kaynakları ve Çalışma Popülasyonu

Bu araştırma, tek bir üçüncü basamak hastanede şüpheli KAH için koroner anjiyografi (CAG) yapılan hastaların retrospektif gözlemsel bir çalışmasıydı. Hastalar, 18 yaş veya üzerinde olup, 27 Ekim 2008'den 21 Ağustos 2020'ye kadar Incheon'daki

Inha Üniversitesi Hastanesi'nde (2020'de 2.922.121 nüfuslu olan Kore Cumhuriyeti'nde) ObCAD şüphesi nedeniyle Koroner anjiyografi yapılanlar arasından seçildi. Bu hastane, Kore'nin Incheon bölgesinde Sağlık ve Refah Bakanlığı tarafından kurulan Bölgesel Kardiyovasküler Merkezleri'ne (RCCVCs) sahiptir.

5) Veri Oluşturma

Çalışma süresince, dijital, standart 10 saniyelik, 12 derivasyonlu EKG, hastaların sırtüstü pozisyondayken alındı. EKG, GE-Marquette EKG makinesi (Marquette, WI, ABD) kullanılarak 500 Hz örnekleme hızında alındı ve EKG üzerindeki ham veriler, MUSE veri yönetim sistemi (GE Healthcare, ABD) üzerinden çıkarılmıştır.

Çalışma katılımcılarının çoğunluğunun çalışma süresi boyunca birden fazla EKG kaydı olduğundan, analiz amacıyla EKG her katılımcı için bir ilgi aralığı/penceresi (WOI – Window of Interest) içinden seçildi. İndeks tarihi ve saati, CAG'nin başladığı tarih ve saat olarak, ilgi penceresi de indeks tarihinden önceki yedi gün olarak tanımlanmıştır. CAG'den önceki bir hafta içerisindeki EKG analiz için seçilmiştir. Bu ilgi penceresi, bir hafta içerisindeki EKG'nin ObCAD'li hastalarda koroner anjiyografi sırasında kantitatif koroner anjiyografi (QCA) daralmasına ilişkin ipuçları içereceği varsayımıyla seçilmiştir. İlgi penceresinde EKG'si olmayan hastalar dışlanmıştır. Hastaların önceki yedi gün içinde birden fazla EKG'si varsa, doktorların tanısıl CAG yapıp yapmamaya karar verdiği en son EKG seçilmiş ve hassasiyet analizi, pencere dönemindeki en erken EKG ile yapılmıştır.

Non-ObCAD, ObCAD ve AMI grupları arasındaki veri dağılımının karşılaştırılması için EKG verilerinden 31 elektrokardiyografik desen ve sekiz kantitatif EKG ölçümü çıkarılmış ve her grup için özetlenmiştir. Sekiz EKG ölçümü arasında QRS süresi, QT, QTc, PR aralığı, ventriküler hız ve P-, Q- ve T-dalga eksenleri bulunmaktadır.

EKG desenleri, MUSE veri yönetim sistemindeki standart anahtar ifadeler temel alan bilgisayar destekli EKG yorumunun yapılandırılmış ifadelerinden ayrıştırılarak ve sınıflandırılarak elde edilmiştir. Bir EKG, normal ve anormal/sınırdan olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. EKG yorumunda anormallik yoksa "normal" olarak etiketlenirken, en az bir tanısıl anormalliği içeren bir desen "anormal" veya "sınırdan" olarak etiketlenmiştir. Cinsiyet ve yaş da elektronik tıbbi kayıttan çıkarılarak CAG raporlarıyla birleştirilmiştir.

6) Sınıflandırma

Koroner anjiyografi (CAG) raporları elektronik tıbbi sistemden çıkarılmıştır. Veri seti, ObCAD ve AMI DL modelleri arasındaki performansı karşılaştırmak için akut miyokard enfarktüsü ve şüpheli anjina pectoris olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Sonunda AMI tanısı konulan hastalar hariç tutulduktan sonra, ObCAD, QCA'da herhangi bir ana damarda $\geq$ %50 lüminal daralma olarak tanımlanmıştır ve non-ObCAD ise $<$ %50 olarak tanımlanmıştır; bu, QCA'sında %50'den fazla anlamlı daralma gösteren ve daha fazla non-invaziv tanı testlerinden ve CAG'den fayda sağlayabilecek hastaları tanımlamak için tanımlanmıştır.

7) EKG tabanlı Derin Öğrenme Algoritması

1D ResNet, EKG'leri sınıflandırmak için kullanışlı bir mimari olarak önerilmiştir. Model, Keras (2.0 sürümü) ile Tensorflow (Google; Mountain View, CA, ABD) kullanılarak uygulanmıştır. Önerilen modelin performansı, makine öğrenimi (ML) ve derin öğrenme (DL) algoritmalarını benimseyen dört başka modelin performansı ile karşılaştırılmıştır (lojistik regresyon [LR], rastgele orman [RF], uzun kısa süreli bellek [LSTM] ve dönüştürücü).

8) Modellerin Karşılaştırılması

Bir istirahat halindeki EKG, her bir örnekte 5.000 boyutta 12 vektörden oluşur, bu da eğitim örneklerinin sayısı ile karşılaştırıldığında çok büyük bir giriş boyutudur. Bu nedenle, ham EKG sinyali, LR ve RF gibi geleneksel ML sınıflayıcılarında kullanılmak için uygun değildir. Çalışmada Her bir derivasyondan 10 Hz aralıklarla 10–100 Hz aralığını çıkarmak için hızlı Fourier dönüşümü (FFT) kullanılmıştır, böylece geleneksel ML sınıflayıcılarıyla kullanılmak üzere uygun boyutta bir boyut haline getirilmiştir. Son olarak, bu 12 derivasyon için toplam 120 boyutta bir vektöre dönüştürülmüştür.

Sonra, FFT ile dönüştürülmüş EKG, LR ve RF için giriş olarak kullanılmıştır. Grid araması kullanarak, RF modelinin hiperparametrelerini ayarlanmıştır: tahmin edicilerin sayısı, bölme için gerekli minimum örnek sayısı ve bir yaprak düğümünde olması gereken minimum örnek sayısı sırasıyla 100, 2 ve 2 olarak ayarlanmıştır. Bi-LSTM için L2 çekirdek düzenleyici, dropout 0.2 ve ReLU aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Bu çalışmada, EKG Aritmi Sınıflandırması için yapılan çalışmada olduğu gibi, ObCAD'ın EKG desenini belirlemek için FC Katmanından hemen önce Transformer Kodlayıcısı kullanılmadı, ancak özneteliklerin çıkarılması ve öneminin kendinden dikkatle belirlenmesi ve ağırlığının belirlenmesiyle zaman serilerinin LSTM ile analiz edilme yöntemi benimsenmiştir. EKG sinyali, 1D CNN aracılığıyla (256,64) boyutuna sıkıştırılmış ve aynı boyutta (256,64) veri, MultiHeadAttention ile çıkarılmıştır. Son olarak, sırasıyla LSTM katmanı, FC katmanı ve sigmoid fonksiyonundan geçirilerek sınıflandırılmıştır.

On iki derivasyonlu EKG'de sekiz fiziksel derivasyon (I, II ve V1-6 derivasyonları) kullanılmıştır çünkü dört artırılmış derivasyon (III, aVR, aVL ve aVF derivasyonları), I ve II derivasyonlarının bir lineer fonksiyonuyla elde edilmiştir. Morfolojik ve zamansal özellikleri çıkarmak için yatay uzun ekseni (500 Hz'de 10 saniye) zamansal eksen, sekiz fiziksel derivasyon ise mekansal ekseni temsil etmek için kullanılmıştır.

ECG DL modelleri, ortalama tahmin edici performansı tahmin etmek için stratified 5-fold çapraz doğrulama kullanılarak

doğrulanmıştır. Doğrulama seti, eğitim setinden rastgele seçilmiş ve veri seti, eğitim, doğrulama ve test setlerine 3:1:1 oranında bölünmüştür. Eğitim veri seti, DL modelini eğitmek ve hiperparametreleri doğrulama veri setiyle optimize etmek için kullanılmıştır. Eğitim veya doğrulamada kullanılmayan kalan hastaları içeren test veri seti, EKG tabanlı DL algoritmasının performansını değerlendirmek için kullanılmıştır. Tanısal eşik, doğrulama setinin ROC eğrisinin altındaki alan (AUC) kullanılarak seçildi. Eşik daha sonra test veri setine uygulanarak hassasiyet, duyarlılık, doğruluk ve F1 skoru hesaplanmıştır.

Hyperparametreler, aşağıdaki seçenekler arasında karşılaştırılmıştır: artıklı bloklarla ResNet (2, 4 ve 8), çekirdek boyutu (16, 32 ve 64), grup boyutu (4, 8, 16, 32 ve 64), başlangıç öğrenme hızı (0.1, 0.01, 0.001 ve 0.0001), optimizasyon algoritmaları (SGD, ADAM) ve dropout oranı (0, 0.3 ve 0.8). Doğrulama setinde en yüksek F1 skoruna ulaşan en iyi hiperparametreler sırasıyla 4, 16, 8, 0.001 ve 0.3'tür. Optimizasyon algoritması olarak Adam optimizör kullanılmıştır.

Alt grup analizi, GE-Marquette EKG makinesi tarafından sağlanan yorumdaki EKG tanısal anormalliklerine performansın bağlı olup olmadığını anlamak için yapılmıştır.

9) Sonuçlar

EKG ile eşleşmeyen ve yinelenen raporlar hariç tutulduktan sonra, 14.080 CAG raporu, 41.355 eşleşmiş EKG verisi ile birlikte dahil edilmiştir (Şekil 3). Tüm CAG raporları arasında, AMI tanısı konulan 1.689 hasta sonunda AMI tespitinde DL tabanlı model için seçilmiştir. 10 saniyeden az olan EKG kayıtları ve bir zaman penceresinden önce kaydedilen EKG'ler hariç tutulduktan sonra, en son 9.592 EKG kaydı 9.592 CAG için seçilmiştir. Her hastaya tek bir CAG seçilmiş ve en son EKG örneği alınmış, önceki EKG'ler hariç tutulmuştur; kardiyoloğun son EKG'ye bağlı olarak CAG sağlama kararı verdiği varsayılmıştır. 9.592 EKG'den, birden fazla CAG geçiren hastalar nedeniyle 1.064 EKG hariç tutulmuş ve 57 EKG kaydı kötü kalitede olduğu için ilgili hasta sayısından çıkarılmıştır. Kalan 8.471 hastadan, CAG raporlarındaki bulgulara dayanarak, sırasıyla 4.293 ve 4.178 hasta, non-ObCAD ve ObCAD gruplarına sınıflandırılmıştır.

ObCAD grubundakilerin non-ObCAD grubundakilere göre muhtemelen daha yaşlı oldukları görülmüştür. Ayrıca, %50'den fazla daralması olanların %50'den daha az daralması olanlardan daha muhtemelen erkek olmaları muhtemeldir, ancak her iki grupta da kaydedilenlerin çoğunluğu erkektir.

QRS süresi ve QT, QTc aralığı non-ObCAD grubunda eğilim göstermiştir: Non-ObCAD grubunda %11.1 iken, ObCAD grubunda %15.0 olarak saptandı. QRS süresi ve QT, QTc aralığı, ObCAD grubunda ve AMI grubunda non-ObCAD grubundan daha uzun olma eğiliminde bulunmuştur. Geleneksel bilgisayar destekli yorumlama, non-ObCAD grubunun %31.7'sinde 'normal' olarak saptanırken, ObCAD grubunda bu oran %20.6 olarak saptanmıştır. Ayrıca, sonunda AMI tanısı konulan hastaların %43.5'inde AMI'yi düşündüren bulgular gösterirken, non-ObCAD grubundaki hastaların sadece %2.4'ünde görülmüştür. Öte yandan, geleneksel yorumlama, iskemiye işaret eden özellikleri AMI kadar bulamamıştır, ve ObCAD ve non-ObCAD grubu arasındaki fark, AMI grubu ile non-ObCAD grubu arasındaki fark kadar belirgin olarak bulunmamıştır: Non-ObCAD grubunda %11.1'e karşılık, ObCAD grubunda %15.0 olarak saptanmıştır.

ObCAD ve AMI için modelin performanslarını listelemektedir. Test veri setinde DL modelinin AUC değeri ObCAD için 0.693 iken, AMI tespitinde 0.923 olarak saptanmıştır. Önerilen ECGNET modelinin ObCAD'yi EKG'lerden tarama için doğruluk, duyarlılık, özgüllük ve F1 skoru sırasıyla 0.638, 0.639, 0.636 ve 0.634 olarak bulunmuştur. Öte yandan, AMI tespitinde bu değerler sırasıyla 0.885, 0.769, 0.921 ve 0.758 idi. Buna karşılık, ObCAD veri seti normal ve anormal/sınırdaki EKG olarak sınıflandırıldığında, geleneksel otomatik yorumlama ile iki alt grup arasında belirgin bir fark gözlenmemiştir. AUC değerleri sırasıyla normal ve anormal/sınırdaki EKG için 0.716 ve 0.728 idi. ObCAD için model en erken EKG ile oluşturulduğunda, performansın en son EKG ile olan modele göre önemli ölçüde değişmediği gözlemlenmiştir (veri gösterilmemiştir).

10) Tartışma

ObCAD olan hastalarda, ObCAD olmayanlara göre EKG voltaj-zaman izlerinden bilgi çıkarmak için ResNet'i kullanan bir DL tabanlı model oluşturulmuştur. Model, ObCAD olasılığını önermede adil bir performans sergilerken, AMI tespitinde iyi ila mükemmel bir performans göstermiştir. Çalışma, önceki araştırmalarla benzer şekilde AMI tespiti için iyi bir performans elde edilirken, daha az denenmiş olan ObCAD tarama modelinin, AMI'ye kıyasla daha karmaşık ve zorlayıcı bir görev olduğunu göstermiştir. İlginç bir şekilde, performans, geleneksel bilgisayar destekli yorumlama tarafından önceden tanımlanmış EKG özelliklerine bağlı olup olmadığına göre değişmemiş; tanımlanmış EKG anormallik profillerinin bulunmadığı normal EKG gruplarında performans kötüleşmemiştir.

Önceki çalışmalar, DL algoritmalarının AMI tespitinde etkili olduğunu rapor etmiştir. Farklı DL algoritmaları kullanılarak mükemmel performans gösterildiği bildirilmiştir. Bir önceki çalışma, sırasıyla STEMI ve NSTEMI için AUC değerlerini 0.997 ve 0.877 olarak bulmuş, başka bir çalışma ise sırasıyla STEMI ve AMI için AUC değerlerini 0.951 ve 0.901 olarak önermiştir. Dahası, bir derleme çalışması, AMI teşhisi üzerine DL tabanlı modellerin %95'in üzerinde doğruluğa sahip olduğunu öne sürmüştür. Bununla birlikte, çoğu çalışma, aynı açık kaynak veritabanından (PTB-XL veritabanı) küçük bir örneğe dayanmakta ve yeni algoritmaların deneysel uygulanmasına odaklanmaktadır. Bazı çalışmalar, CNN'nin kullanıldığı durumlarda iyi performans gösterirken, diğerleri performansın, çoklu-derivasyonlu artıklı sinir ağı, özelliklerin birleştirilmesi, çoklu-derivasyonlu dikkat, çift yönlü kapalı ardışık birim, değişken otokodlayıcı ve CNN'nin LSTM/BLSTM ağı ile birleştirilmesi veya uygulanması durumunda artırılabilirliğini önermiştir. Bu nedenle, son bir çalışma, akut koroner sendromu tanılamak için EKG'nin değerine ilişkin hala tartışmalar veya kanıtlar arasında boşluklar olduğunu bildirmiş ve ST-elevasyonu olmayan hastalarda doğrulama sorunları, EKG'nin kilit lezyonları tanılamadaki rolü, P dalgası anormallikleri, Q dalgası regresyonu ve ST sapması ve çözünümlü konularında yapılmıştır. Buna karşılık, stabil iskemik kalp hastalığını değerlendirmek için DL modelinin performansı nadiren değerlendirilmiş ve yalnızca az sayıda deney küçük bir örneklem

üzerinde denenmiştir. Son zamanlarda yapılan bir sistemik inceleme, incelemede stabil iskemik kalp hastalığı (IHD) için iki DL modeli bulunduğunu ve bunların AMI tespiti için altı modelle aynı performansı sergilediğini öne sürmüştür. Ancak, stabil IHD üzerine yapılan her iki çalışma da PhysioNet veritabanından aynı verileri kullanmıştır. Analiz yalnızca hipertansiyonlu CAD tanısı konmuş yedi özne üzerine dayanmaktadır. Dahası, bunların arasında dört hastanın EKG'si sol ventrikül hipertrofisi (LVH) ile uyumluydu, diğer beş hastanın ise veri setinde angina pectoris tanısı konulmuş olmasına rağmen analizlerine dahil edilmemiştir. Bu nedenle, önceki araştırmalar, DL algoritmalarının ObCAD'ı tespit etmek için uygulanmasının umut vaat edici olabileceğini öne sürse de, performansın hipertansiyon veya LVH ile tanı konmuş yedi öznenin farklı EKG özelliklerinden dolayı aşırı tahmin edilmiş olabileceğini öne sürmüştür. Ayrıca, diğer çalışmalar da genelleme imkanını sınırlayan oldukça küçük örneklem büyüklükleri kullanmışlardır.

Modellerin gerçek dünya ortamlarında güvenilirliğini doğrulamak için çeşitlilik gösteren daha büyük veri kümelerinde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, ObCAD'ı taramak için DL modelinin performansı, AMI'yi teşhis etmek için olan modelin performansı ile kıyaslandığında mütevazıdır. AMI'nin neden olduğu miyokard üzerindeki geri dönüşü olmayan doku hasarı ObCAD'dan daha dikkate değer EKG bulgularına neden olur. Buna karşılık, EKG bozuklukları genellikle daha belirsizdir ve ObCAD'ı sınıflandırmakta zorluk yaşar. Her ne kadar normal EKG, angina pectoris olasılığını dışlamasa da, EKG, ObCAD'ı taramada faydalı bilgiler sağlayabilir. Avrupa Kardiyoloji Derneği kılavuzlarına göre, şüpheli CAD'li hastalarda ilk olarak bir dinlenme EKG'si test edilir. Miyokard iskemisinin belirtileri genellikle repolarizasyon anormalliklerinin tespitine ve dolaylı olarak önceki enfarktüs veya iletim anormalliklerine dayanır. Diğer yandan, bulgular, iskeminin süresine, derecesine ve topografisine, diğer temel aritmiye ve varlığına bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik gösterir. Dahası, yanlış pozitif sonuçlar daha sık olarak LVH, elektrolit dengesizliği, digitalis kullanımı ve intraventriküler iletim anormallikleri olan hastalarda bildirilmiştir. Bu nedenle, kronik CAD'ın klinik olasılığını tahmin etmek için bir DL tabanlı modelde EKG özelliklerinin kullanılması daha zordur.

Günümüz uygulamaları, stabil göğüs ağrısı olan ve şüpheli ObCAD'ı değerlendirilen hastanın EKG üzerindeki yorumuna bağlıdır. Bu nedenle, uygulama, klinisyenin bilgi ve deneyimine göre subjektiftir ve sahada zaman ve çaba gerektirir. Ayrıca, bu, herhangi bir kantitatif risk stratifikasyonu tahminine nicel olarak entegre edilemez ve ölçülemez. Buna karşılık, DL tabanlı EKG modeli, otomatik EKG yorumlamasına ve riskin nicelendirilmesine katkıda bulunabilir. Dahası, EKG, insan gözü perspektifinden ve GE makinesi tarafından sağlanan bilgisayar destekli EKG özellikleri açısından zayıf bir öngörücü olabilirken, EKG özelliklerinin ObCAD'ın tahminine ilişkin olduğu gösterilmiştir. Önceki literatür, kardiyoloğun ST segmenti, T ve Q dalga yorumuna dayanarak dinlenme EKG'sinin ObCAD'ı uygun şekilde tahmin edemediğini rapor etmiştir: %51.5 duyarlılık ve %66.1 özgüllük.

Benzer şekilde, bu çalışmada GE tarafından sağlanan EKG yorumu da daha düşük duyarlılık göstermiştir; QCA daralması olan 4,178 hastanın sadece %15'inde miyokard iskemisi bulundu. QCA daralması olmayan hastaların %11'inde yorumda iskemi saptanmıştır (%15.0 duyarlılık ve %88.9 özgüllük). Ancak, diğer çalışmalar, dönüştürülmüş ve çoklu ayarlı modellerdeki çeşitli EKG değişkenlerinin ObCAD tespiti ve mortalite için önemli öngörücüler olabileceğini öne sürmüştür ve başka son çalışmalar, kalp hızı değişkenliği ve EKG'nin Hilbert-Huang dönüşümünün miyokard iskemisi üzerinde gizli bilgileri ortaya çıkarabileceğini öne sürmüştür [32, 34, 35]. Bu nedenle, DL tabanlı EKG modelleri karmaşık ve yenilikçi yollarla geliştirilirse, klinisyenlere daha iyi ayırma yapma ve ileri tanı yöntemleri için daha iyi kararlar alma konusunda yardımcı olabilir.

Bu çalışmada, önerilen model olan 1D ResNet'in diğer ML ve DL modellerine göre üstün olduğu bulunmuştur. Bu durum, LR ve RF'nin EKG sinyallerini öğrenirken zaman serisi özelliklerini yansıtamamasından kaynaklanabilir. Özellikle, RF, karar ağaçlarının aşırı uyumunu ensemble yöntemiyle önleyerek genelleme performansını artırırken, yüksek boyutlu verilerde hala aşırı uyum eğiliminde olduğunu deneysel olarak doğrulanmıştır. Bunu önlemek için, çalışmada EKG sinyalleri FFT'ye dönüştürülmüştür, ancak frekans çözünürlüğü ve bilgi kaybı ile zaman serisi özelliklerinin kaybı tamamen çözülememiş olabilir.

Bi-LSTM, zaman serisi özelliklerini dikkate alır, ancak gücü uzun süreli bağımlılıkları öğrenmektedir, bu da kısa süreli periyotlarda ince özellikleri bulmak için daha az uygun olmasını sağlar. Transformer Encoder'ın Self-Attention'ı öncelikle global bağımlılıkları öğrenmek için kullanılmıştır, bu da 1D CNN'nin yerel desenleri tespit etme yeteneğini sınırlamıştır. Ayrıca, daha fazla parametre nedeniyle modelin karmaşıklığı artar, bu da aşırı uyum sorunlarına yol açabilir.

Bu çalışmanın temel gücü, şüpheli ObCAD'ı olan çağdaş bir popülasyonun ve CAG alan bir popülasyonun dahil edilmesiydi. Bu nedenle, sınıflandırma CAG raporlarına dayandığı için yanlış sınıflandırma riski çok azdır. Ayrıca, önceki deneylerin sayısından daha fazla olan katılımcı sayısı, EKG verilerinde daha fazla varyasyon sunar ve gerçek dünyaya daha yakındır. Ayrıca, geleneksel EKG yorumlamasına kıyasla DL tabanlı model, daha fazla kişinin daha erken teşhis ve tedavi almasına yardımcı olabilir ve mevcut uygulamada gereksiz tanı testlerinin azaltılmasına yardımcı olabilir. Geleneksel EKG yorumlamalarıyla karşılaştırıldığında, DL tabanlı model, CAG olan kişilerin %58'ine daha erken teşhis koyma ve stabil göğüs ağrısı ve şüpheli ObCAD hastalarının daha erken tedavi edilmesine yol açabilir: 4.178 hastada QCA daralması olanların geleneksel yorumlama ile 646 (%15) kişiye karşı, DL modeli ile 3.050 (%73) kişiye erken teşhis koyma. Dahası, DL modeline göre ObCAD olasılığı düşük olan 4.293 hastanın %62'si gereksiz olmayan non-invaziv tanı testleri ve CAG'den çıkarılabilir.

Bu çalışmanın bazı kısıtlamaları vardı. Bu çalışma, göğüs ağrısı olan ancak hepsi CAG alan tüm katılımcılar üzerine retrospektif bir çalışmaydı. Bu nedenle, kaydedilen katılımcılar, bir doktor tarafından yüksek riskli olarak kabul edilen seçilmiş hastalardı ve bu durum genelleme yapmayı sınırlayabilir. İkinci olarak, bu sonuçların gelecekteki uygulamalara dönüştürülmesi gerekmektedir, örneğin, performansı doğrulamak için prospektif bir çalışmada uygulanması gerekmektedir. Üçüncü olarak, DL algoritması akut miyokard enfarktüsünü otomatik olarak tespit etmede iyi bir performans göstermesine rağmen, ObCAD taramasında adil bir doğruluk ve duyarlılık göstermiştir. Bu nedenle, bu çalışmanın sonuçları klinik uygulamada dikkatlice yorumlanmalı ve DL tabanlı EKG modelinin gelecekteki pratik kullanım için yenilikçi bir şekilde

geliştirilmesi gerekmektedir. Dördüncü olarak, klinik uygulamada kritik olan semptomların özellikleri, daha iyi bir EKG yorumu ile kapsanamadı. Son olarak, sınıflandırmaya katkıda bulunan EKG bileşenlerinin daha fazla incelenmesi önemlidir. Son zamanlarda, makine öğrenme modellerini yorumlanabilir veya açıklanabilir hale getirebilecek yeni teknolojiler geliştirme çabaları yapılmıştır.

Bu çalışma, EKG'nin ObCAD taraması için bir DL algoritmasının benimsenme olasılığını incelemiştir ve ObCAD modelinin AMI modeli ile performansını karşılaştırmıştır. Model, AMI'yi tespit etmede iyi ila mükemmel bir performans göstermesine rağmen, ObCAD olasılığını önermede sadece mütevazı bir performans sergilemiştir. Bununla birlikte, DL algoritması tarafından çıkarılan EKG'den elde edilen bilgiler, klinikçilerin ön test olasılığına ek olarak ilk değerlendirmelerine yardımcı olabilecek bir ilave olarak hizmet edebilir. Daha fazla geliştirme ve değerlendirme ile, DL algoritmasıyla birleştirilmiş EKG, kaynak yoğun tanı yollarında klinikçilere potansiyel bir ön hat tarama desteği sağlayabilir.