.

Otonom Ajan Tabanlı Makine Öğrenmesi ile Yüzey EKG P Dalgası Morfolojisinden Atriyal Ektopik Odak Tahmini

Dr. Halil Siner, Doç. Dr. İbrahim Etem Dural

Otonom Ajan Tabanlı Makine Öğrenmesi ile Yüzey EKG P Dalgası Morfolojisinden Atriyal Ektopik Odak Tahmini

Orjinal başlık: Autonomous agentic machine learning optimization for the prediction of atrial ectopic origin from surface ECG P-Wave morphologies in patients with atrial fibrillation

Hazırlayan: Dr. Halil Siner, Doç. Dr. İbrahim Etem Dural

Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Tıp Fakültesi Kardiyoloji Anabilim Dalı, Afyonkarahisar, Türkiye

Yazarlar: G. Bohus[1], F. Komlósi[1], I. Szakál[1], A. Karsai[1], B. Arnóth[1], H. Sánta[1], I. Osztheimer[1], N. Szegedi[1], P. Perge[1], K. Piros[1], Z. Salló[1], E. Tanai[1], B. Merkely[1], L. Gellér[1], K.V. Nagy[1]

[1]*Semmelweis Üniversitesi, Kalp ve Damar Merkezi (Semmelweis University, Heart and Vascular Center), Budapeşte, Macaristan*

Erişim Linki: https://esc365.escardio.org/presentation/335811

Arka Plan ve Amaç

Atriyal ektopik atımlar, atriyal fibrilasyonun (AF) en önemli tetikleyicileridir. Pulmoner ven (PV) kaynaklı tetikleyiciler en sık görülen ve ablasyonun birincil hedefi olan odaklardır; ancak PV dışı odaklar da aritmiyi başlatıp sürdürebilir. Başarılı PV izolasyonuna rağmen nüks eden AF'de tetikleyici çoğu zaman belirsiz kalır ve etkili bir ablasyon stratejisi belirlemek güçleşir.

Yüzey EKG'nin baskın ektopi odağını lokalize edebilmesi, kişiselleştirilmiş bir ablasyon stratejisinin önünü açabilir. Bu çalışmada, konumu bilinen bölgelerden yapılan intrakardiyak uyarı (pacing) sırasında kaydedilen P dalgalarının, ektopi odağını tanıyacak bir modelin eğitim verisi olarak kullanılabileceği hipotezi test edilmiştir. Çalışmanın hedefi, otonom ajan tabanlı (agentic) bir geliştirme döngüsüyle yüzey EKG P dalgasından atriyal uyarı bölgesini tahmin eden bir model geliştirmek ve doğrulamaktır.

Yöntemler

İlk AF ablasyonu planlanan, sinüs ritmindeki hastalar prospektif olarak çalışmaya alınmıştır. Uyarı sekiz bölgeden yapılmıştır: dört pulmoner ven (LSPV, LIPV, RSPV, RIPV), koroner sinüs ağzı (CS), sol atriyum arka duvarı (PW), superior vena kava (SVC) ve sol atriyal apendiks (LAA). Her uyarı artefaktını izleyen 200 ms'lik pencere alınmış; I, II, III ve V1 derivasyonları derivasyon başına 100 noktaya yeniden örneklenmiştir. Model performansı hasta düzeyinde gruplanmış 10 katlı çapraz doğrulama ile ölçülmüştür. Birincil ölçüt, makro bire-karşı-diğerleri (one-vs-rest) ROC eğrisi altındaki alandır (AUROC). Seçilen nihai model, ayrı bir elektrofizyoloji laboratuvarından elde edilen bağımsız bir kohortta ayrıca doğrulanmıştır.

Otonom geliştirme döngüsü. Çalışmanın asıl yeniliği, model tasarımının insan yerine bir yapay zeka ajanına bırakılmasıdır. Döngü 220'yi aşkın iterasyonda öznitelik temsillerini, mimarileri (ağaç tabanlı modeller ve sinir ağları) ve topluluk (ensemble) yöntemlerini sistematik olarak denemiştir. Her tur şu adımlardan oluşur:

1. Deney yapılandırması (derivasyonlar, sınıflar, sabit katlar, skorlama, veri sızıntısı korumaları) en başta dondurulur.
2. Model geliştirme ajanı önceki turların kaydını okur, tek bir değişiklik önerir, çalıştırılabilir kodu yazar ve aday modeli eğitir.
3. Ayrı bir değerlendirici ajan, yapılandırmanın değişmediğini ve korumaların çalıştığını doğrular, katlar dışı makro AUROC'u hesaplar.
4. Değişiklik geçerliyse ve skoru iyileştiriyorsa yeni referans model olarak tutulur; değilse gerekçesiyle kayda geçirilip atılır.
5. Belirlenen deneme sayısı dolunca seçilen model bağımsız doğrulama kohortuna götürülür.

Bulgular

Otonom döngünün seçtiği topluluk modeli, sekiz uyarı bölgesini geliştirme kohortunda 0,92 ortalama AUROC ile ayırt

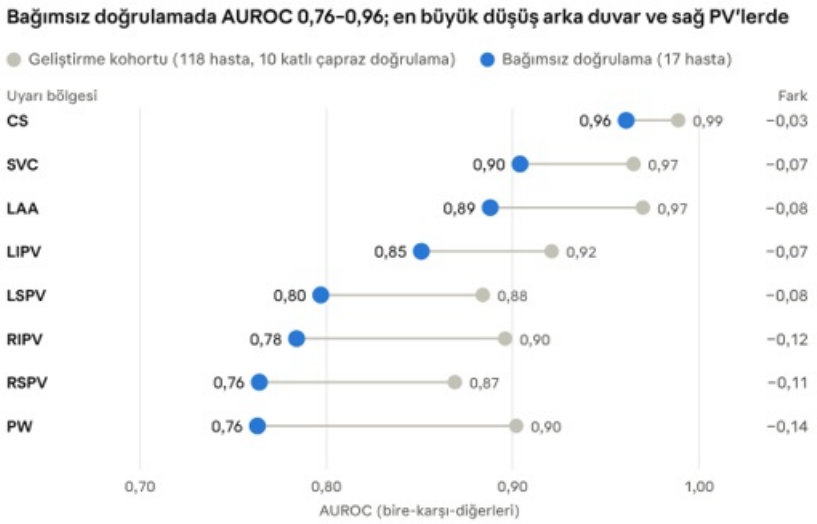
etmiştir. Bağımsız kohortta bölge bazında AUROC 0,76 ile 0,96 arasında kalmıştır.

Hasta özellikleri: Geliştirme kohortu 118 hasta ve 17.630 P dalgasından oluşmaktadır. Medyan yaş 61 [52–68], erkek oranı %66, hipertansiyon %61, paroksismal AF %88'dir. Medyan CHA_2DS_2-VA skoru 1 [0–2], medyan sol ventrikül ejeksiyon fraksiyonu %60 [55–65] olarak bildirilmiştir.

Geliştirme kohortu: Model ortalama sınıf bazında 0,92 AUROC, 0,67 F1 skoru ve 0,67 doğruluk elde etmiştir. Kalibrasyon iyidir: beklenen kalibrasyon hatası 0,02, Brier skoru 0,45'tir. En yüksek ayırt edicilik koroner sinüs (0,99), LAA (0,97) ve SVC (0,97) için, en düşük RSPV (0,87) için elde edilmiştir.

Bağımsız doğrulama: Ayrı bir EP laboratuvarından 17 hastalık kohortta CS (0,96) ve SVC (0,90) yüksek performansını korumuştur. En belirgin düşüş arka duvar (0,76), RSPV (0,76) ve RIPV (0,78) bölgelerinde görülmüştür.

Tablo 1. Modele ait AUROC değerleri (geliştirme kohortu ve 17 hastalık doğrulama kohortu).



AF: atriyal fibrilasyon; AUROC: ROC eğrisi altındaki alan; CS: koroner sinüs; EP: elektrofizyoloji; LAA: sol atriyal apendiks; LIPV/LSPV: sol alt/üst pulmoner ven; PV: pulmoner ven; PW: sol atriyum arka duvarı; RIPV/RSPV: sağ alt/üst pulmoner ven; SVC: superior vena kava.

Sonuçlar ve Değerlendirme

Anatomik olarak birbirinden uzak ve P dalgası vektörü belirgin farklı olan CS ve SVC kolay ayırt edilmiştir. Birbirine komşu ve benzer aktivasyon yönü üreten sağ PV'ler ile arka duvar ise gerçek hayat verisinde en zor sınıflar olarak öne çıkmıştır.

Kongre özetinde, 114 hastalık ilk analizde makro AUROC 0,884 ve 11 hastalık bağımsız kohortta 0,860 bildirilmiştir. Aynı analizde model PV ve PV dışı odakları (doğruluk 0,875 ve 0,729) ve sol ile sağ atriyumu (0,861 ve 0,788) bölgesel düzeyde iyi ayırt etmiştir. Dikkat çekici bir bulgu, derin öğrenme mimarilerinin (en yüksek AUROC 0,854) ağaç tabanlı topluluk modellerinin (Extra Trees) gerisinde kalmasıdır; kısa ve düşük boyutlu P dalgası verisinde basit modeller avantajlı olabilir.

Çalışma, nüks AF'de tetikleyici odağı ablasyon öncesinde yüzey EKG'den öngörme fikrini, etiketi kesin olan bir veriyle sınamıştır. Uyarı bölgesinin bilinmesi, her P dalgasının kaynağını tartışmasız kılar; bu, ektopi lokalizasyonu çalışmalarının en zayıf halkası olan referans standart sorununu çözer.

Metodolojik açıdan asıl katkı, model geliştirmenin otonom bir ajan döngüsüne devredilmesidir. Değerlendiricinin ayrı bir ajan olması, yapılandırmanın dondurulması ve her denemenin gerekçesiyle kaydedilmesi, çalışmayı izlenebilir ve tekrarlanabilir kılmaktadır. Bu yaklaşım, klinik veri bilimi projelerinde insan emeğini azaltabilecek bir şablon sunmaktadır.

Bu çalışmada şu noktalar göz önünde bulundurulmalıdır:

- Kateterle yapılan uyarıdan elde edilen P dalgası, spontan ektopik atımın P dalgasıyla birebir aynı olmayabilir. Yazarlar da spontan ektopide doğrulama gerektiğini belirtmektedir.
- 220'yi aşkın iterasyonda aynı çapraz doğrulama skorunun optimize edilmesi, bu skoru iyimser hale getirebilir. Bağımsız kohortta görülen 0,03–0,14 puanlık düşüş bu etkiyle uyumludur.
- Bağımsız doğrulama kohortu yalnızca 17 hastadır ve çalışma tek merkezlidir.
- Sekiz sınıflı problemde doğruluk 0,67'dir; tek bir bölgeyi isabetle göstermekten çok, PV ve PV dışı ya da sol ve sağ atriyum gibi bölgesel ayırım klinik açıdan daha kullanışlı görünmektedir.
- Crista terminalis, interatriyal septum ve Marshall ligamenti gibi bilinen PV dışı odaklar modele dahil değildir.

Sonuç olarak bu çalışmada, ablasyon öncesi invaziv olmayan bir “tetikleyici haritası” hedefine yönelik umut verici bir kavram kanıtı sunmaktadır. Klinik kullanım için spontan ektopi verisiyle ve çok merkezli kohortlarda prospektif doğrulama gereklidir.