

## Prototipo de pulsera electrónica para niños con discapacidad intelectual

## Prototype of an electronic bracelet for children with intellectual disabilities

Mauricio Alberto Rodríguez García <sup>a</sup> Luis Rodolfo Coello Galindo <sup>b</sup> Israel Acuña Galván <sup>c</sup>  
Evangelina Lezama León <sup>d</sup>

### Abstract:

This paper addresses the need for an adapted technological solution for children with intellectual disabilities (ID) and their caregivers, through the design and development of a prototype of an electronic bracelet. Children with ID face difficulties in daily tasks and have a higher risk of getting lost, which generates concern in their caregivers. The proposed electronic bracelet integrates GPS technology for real-time tracking, cardiovascular health monitoring and medication reminder notifications via Telegram and a web platform. This development responds to the lack of specific products in the market for this demographic group.

### Keywords:

Intellectual Disability, GPS, Platform, Telegram, Bracelet.

### Resumen:

El presente trabajo aborda la necesidad de una solución tecnológica adaptada para niños con discapacidad intelectual (DI) y sus cuidadores, mediante el diseño y desarrollo de un prototipo de pulsera electrónica. Los niños con DI enfrentan dificultades en tareas cotidianas y tienen un mayor riesgo de extravío, lo que genera preocupación en sus cuidadores. La pulsera electrónica propuesta integra tecnología GPS para seguimiento en tiempo real, monitoreo de la salud cardiovascular y notificaciones de recordatorio de medicamentos a través de Telegram y una plataforma web, en tiempo real, la pulsera permite ubicar a los niños con DI, monitorear su salud y gestionar recordatorios de medicamentos. Este desarrollo responde a la falta de productos específicos en el mercado para este grupo demográfico.

### Palabras Clave:

Discapacidad Intelectual, GPS, Plataforma, Telegram, Pulsera.

### Introducción

“La discapacidad intelectual es un término utilizado cuando una persona no tiene la capacidad de aprender a niveles esperados y funcionar normalmente en la vida cotidiana” [1]. A menudo, estos niños enfrentan obstáculos en su vida diaria que pueden dificultar su independencia y seguridad, lo que subraya la falta de soluciones innovadoras que aborden sus necesidades específicas. En este contexto, la presente investigación se centra en el diseño y desarrollo de un prototipo de pulsera electrónica dirigido a niños con discapacidad intelectual, con el

objetivo de mejorar su calidad de vida y promover su autonomía. El enfoque centrado en el diseño de este prototipo se basa en el reconocimiento de las barreras que enfrentan estos niños en su entorno cotidiano. Las limitaciones que acompañan a la discapacidad intelectual pueden dificultar la comunicación y el cuidado personal. Por lo tanto, la creación de una solución tecnológica específica para sus necesidades busca facilitar su integración en diversas actividades y promover su independencia en un mundo cada vez más tecnológico y conectado.

<sup>a,b,c,d</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Tizayuca | Tizayuca, Hidalgo | México, <https://orcid.org/0009-0009-4434-4810>, Email: [ro435320@uaeh.edu.mx](mailto:ro435320@uaeh.edu.mx); <https://orcid.org/0000-0003-3145-5086>, Email: [coello@uaeh.edu.mx](mailto:coello@uaeh.edu.mx), <https://orcid.org/0000-0002-7714-0410>, Email: [israel\\_acuna4738@uaeh.edu.mx](mailto:israel_acuna4738@uaeh.edu.mx); <https://orcid.org/0000-0003-0818-0897>, Email: [evangelina@uaeh.edu.mx](mailto:evangelina@uaeh.edu.mx)

## Antecedentes

En año 2016 se desarrolló un prototipo llamado "*pulsera Aytá*", (ver figura 1) que es un dispositivo localizador diseñado para adaptarse a diversas necesidades del usuario, este puede ser configurado según el objeto o ente que se quiera proteger, para infantes como pulsera, mascotas como collar u objetos electrónicos como teléfonos celulares, tabletas o laptops. El dispositivo cuenta con un circuito propio el cual se hizo con ayuda de la plataforma *Arduino uno*, que se comunica con el dispositivo móvil a través de infrarrojo o wifi, con un rango o distancia máxima establecida, si el dispositivo rebasa ese límite, emite una alerta sonora y vibra. El objetivo principal es brindar seguridad a quien lo lleva, ayudando en la prevención o reducción de robos de objetos, mascotas o personas, al comunicarse de manera inmediata con otros usuarios que tengan la aplicación instalada en su dispositivo móvil y estén registrados en la plataforma. Para su funcionamiento, se requiere una conexión a Internet y Bluetooth forzosamente; por otro lado, los usuarios de la pulsera tienen acceso a una plataforma web con un mapa interactivo que muestra la última posición del gadget en caso de un incidente, lo que permite llevar un registro de robos o extravíos, identificando las zonas con mayor inseguridad. [2]



Figura 1 Prototipos finales de la pulsera Ay Tá

En el artículo "*Utilidad de los relojes inteligentes en las unidades de hospitalización a domicilio*" [3], se habla sobre la fibrilación auricular que es la arritmia cardíaca sostenida más común, que afecta alrededor de 33 millones de personas en todo el mundo y sigue aumentando. Esto puede causar un exceso de mortalidad, principalmente debido a *ictus* e *insuficiencia cardíaca*. En los últimos años, han aparecido nuevos dispositivos, como los relojes inteligentes, que permiten la monitorización continua de las constantes vitales, incluyendo la realización de electrocardiogramas (ECG) en tiempo real [4]. Aunque hay evidencia de la utilidad de estos dispositivos para detectar arritmias cardíacas en

personas, no se han encontrado publicaciones que utilicen los dispositivos del personal médico para realizar ECG en pacientes, lo que permitiría una aproximación diagnóstica rápida y fiable en la cabecera del paciente.

En la figura 2 se aprecia el electrocardiograma generado por un Smartwatch, el cual ha detectado una fibrilación auricular en un paciente.

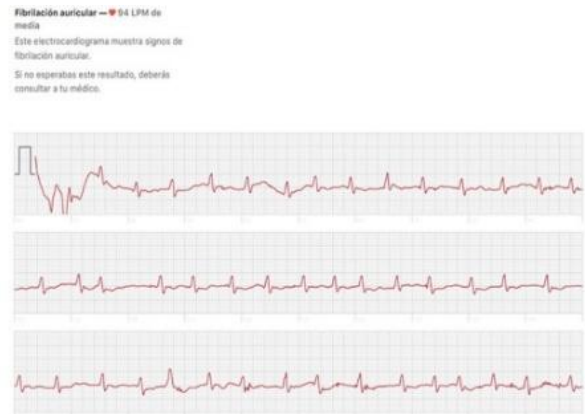


Figura 2 ECG realizado con smartwatch en el que se aprecia fibrilación auricular

En la investigación realizada por Arriba P. [5], se basó en analizar los *wearables* de pulseras disponibles en el mercado para medir indicadores relacionados con el sueño y el estrés. Estos dispositivos cuentan con múltiples sensores que se adhieren a la piel y capturan señales fisiológicas como la frecuencia cardíaca y la temperatura de la piel. Se comprobó que estas señales son útiles para caracterizar estados físicos y emocionales como el cansancio, la motivación y el estrés. En este estudio, se seleccionaron los indicadores de sueño y estrés como objetivos de investigación, dado que se ha demostrado que una mala calidad del sueño y un alto nivel de estrés pueden afectar negativamente el rendimiento y la capacidad de aprendizaje de los estudiantes.

Durante el desarrollo de la investigación, se analizaron los wearables existentes en el mercado, incluyendo sus características, conectividad y modelos de datos. Se identificaron los indicadores de sueño y estrés presentes, y se seleccionaron aquellos parámetros que podían medirse a través de los datos proporcionados por los wearables. En la figura 3 se muestra la aplicación *encuesta del sueño*, en esta imagen se aprecia la aplicación usada para medir los indicadores de sueño.



Figura 3 Aplicación Encuesta del sueño

Posteriormente, se llevaron a cabo experimentos con varios sujetos de prueba para validar el potencial de los dispositivos para medir los indicadores de sueño y estrés. Se definieron protocolos para la adquisición y evaluación de los datos capturados, y se emplearon técnicas y clasificadores de aprendizaje automático, como las Máquinas de Soporte Vectorial, Bosques Aleatorios y Redes Neuronales, para analizar los datos. Los resultados obtenidos mostraron una precisión de predicción de los clasificadores de hasta el 84%, lo que demuestra que los wearables de pulsera pueden estimar la calidad del sueño, su duración y el nivel de estrés.

### Propuesta

Para el diseño del prototipo de pulsera, se propone la integración de componentes fundamentales como el módulo GPS NEO-6MV2 y el sensor MAX30102 para el monitoreo del ritmo cardíaco y seguimiento de ubicación por GPS. El módulo GPS NEO-6MV2 utilizado ofrece una precisión de aproximadamente 2,5 m en condiciones óptimas; en contraste, algunos dispositivos comerciales integran conectividad celular que mejoran la exactitud. Estos módulos se conectarán a través del microcontrolador ESP32, actuando como puente de comunicación y permitiendo la transmisión de datos mediante Wi-Fi a una plataforma web. La pulsera contará con una batería de 5V para su alimentación, con una duración estimada de aproximadamente 3 horas de funcionamiento continuo. En esta fase inicial, la autonomía de la batería es limitada ( $\approx 3$  horas); sin embargo, se contempla integrar una batería de mayor capacidad en futuras versiones para extender el tiempo de monitoreo.

En la plataforma web asociada, los usuarios podrán acceder a información detallada del ritmo cardíaco, visualizando electrocardiogramas generados a partir de las lecturas del sensor. Además, podrán realizar un seguimiento de la ubicación en tiempo real del usuario mediante un mapa interactivo y recibir alertas a través de la aplicación de mensajería Telegram en caso de salidas de zonas seguras o cambios significativos en el ritmo cardíaco.

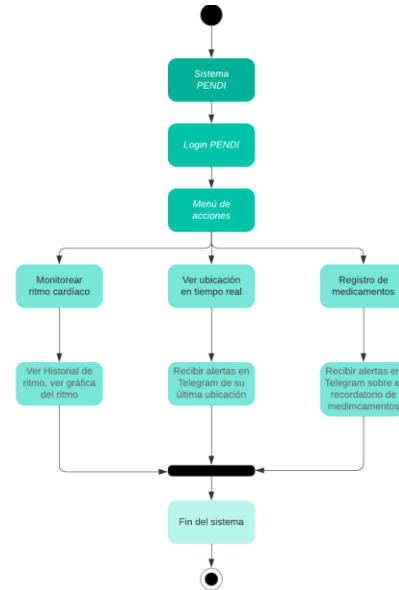


Figura 4 Diagrama de funcionamiento PENDi, elaboración propia

En la figura 4 se muestra lo que la plataforma PENDi incorporaría. Tendrá 3 apartados clave, el primero de ellos es para visualizar la ubicación en tiempo real, el segundo es el monitoreo del ritmo cardíaco, y por último la agenda de medicamentos a través del cual los usuarios podrán establecer recordatorios para recibir notificaciones por medio de *Telegram* así como en la plataforma web.

El diseño se enfoca en la usabilidad y la seguridad del sistema, asegurando la privacidad de los datos, ofreciendo una interfaz intuitiva y amigable para los usuarios.

### Resultados

En la primera fase, se probó el funcionamiento de cada uno de los módulos, posteriormente se conectaron los módulos de GPS y ritmo al microcontrolador, este a su vez alimentado por una batería de litio la cual se podía recargar por medio de un módulo de carga tipo C.

Figura 5. Circuito final con los módulos, en esta imagen se muestra el circuito interno conectado con los módulos GPS, MAX30100, Módulo de Carga tipo C, y un switch para prender y apagar el circuito.

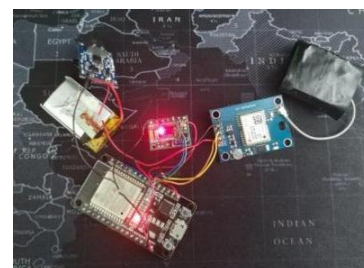


Figura 5 Circuito final con módulos

Figura 6. Prototipo final PENDI, en esta se muestra la pulsera final con el circuito integrado, el cual a su vez cuenta con un switch por medio del cual se puede prender o apagar, también se puede observar la pulsera con su carcasa la cual fue realizada por medio de una impresora 3D, cuyo diseño previamente se realizó en blender.



Figura 6 Prototipo final PENDI

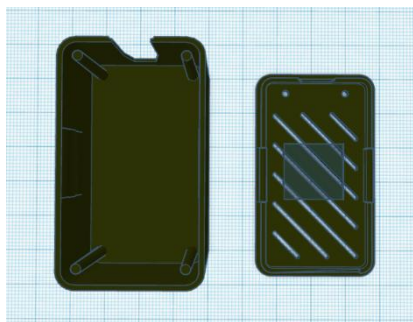


Figura 7 Diseño en Blender de la Pulsera

En la figura 7 se muestra el diseño final, el diseño 3D de la carcasa se realizó en Blender, y la impresión en 3D con tecnología de Modelado por Deposición Fundida (FDM), el cual fue utilizado para poner el circuito, en la tapa se encuentra un hueco por donde el módulo de ritmo se expone para tomar las lecturas, y en los costados se le hicieron 2 aberturas para poner una correa.

En la fase de experimentación y validación del prototipo, se realizaron pruebas, para comprobar el funcionamiento correcto del sistema propuesto. Se evaluó la conectividad con Wi-Fi, la transmisión de datos, la precisión del módulo GPS, la generación de electrocardiogramas y la notificación de alertas mediante Telegram.

En la Figura 8 se observan los datos obtenidos por medio del módulo de ritmo, de igual forma se muestra una gráfica en donde se muestra las lecturas del ritmo respecto al tiempo en segundos, las cuales se expresan en latidos por minuto.

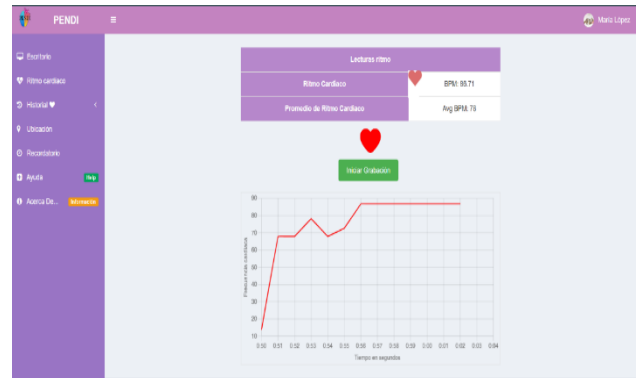


Figura 8 Ventana de ritmo cardíaco

En la Figura 9 se observan las grabaciones que se obtienen de la gráfica, una vez que se probó su funcionamiento, las grabaciones son almacenadas en la plataforma web PENDI, para que a su vez se pueda descargar en formato de video o de imagen.



Figura 9 Grabaciones ritmo

En la Figura 10 se muestra una prueba de cómo se observa la ubicación obtenida por medio de GPS en tiempo real. Primero se muestra la latitud y longitud de las coordenadas, mismas que se pasan al mapa el cual muestra en forma de marcador la ubicación.

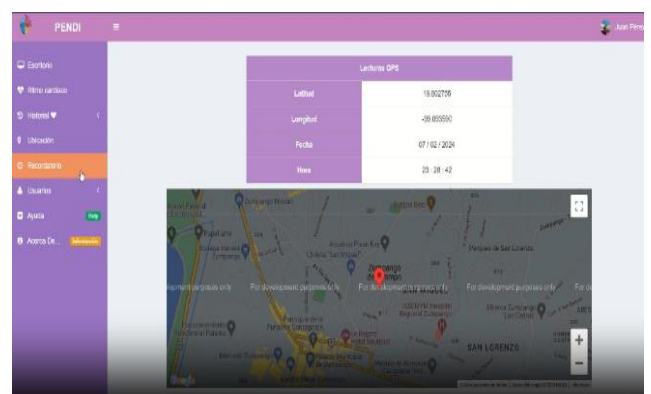


Figura 10 Ventana ubicación

En la Figura 11 se muestra la interfaz por la cual se pueden programar y gestionar la agenda de medicamentos, esta agenda de medicamentos manda alertas por medio de la página web y mediante Telegram.

Figura 11 Agenda de medicamentos

Para el apartado de la batería que contiene el circuito, se calculó una duración aproximada de 2.28 horas para el circuito. Confirmamos este tiempo dejando el circuito encendido durante exactamente 2 horas y el circuito seguía encendido. Para determinar el consumo de cada componente del circuito, consultamos las hojas de especificaciones de la ESP32 (80 mA), el módulo MAX30105 (50 mA) y el módulo GPS Neo 6mv2 (45 mA). Con estos datos, aplicamos la siguiente fórmula para estimar la duración de la batería en horas:

$$\text{Tiempo en Horas} = \frac{400\text{mAh}}{80\text{mA} + 50\text{mA} + 45\text{mA}} = 2.285\text{hrs.}$$

En la Figura 12 se puede observar a un sujeto de prueba usando la pulsera PENDI.



Figura 12 Sujeto de prueba usando la pulsera PENDI

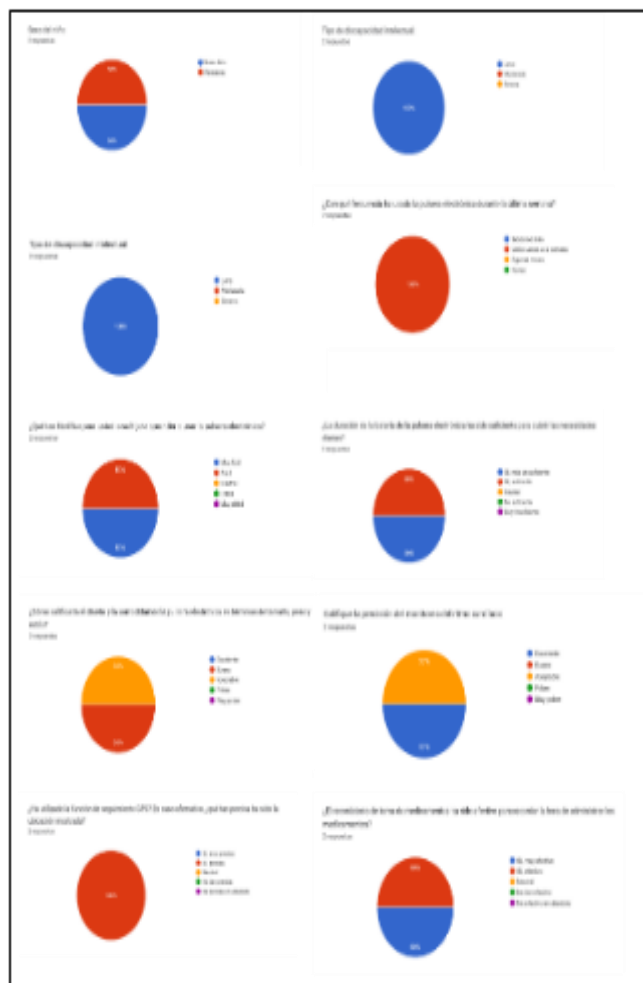


Figura 13 Resultados de encuesta aplicada a 2 cuidadores

Como se puede observar en la Figura 13, los resultados obtenidos mediante la encuesta aplicada concuerdan en que la pulsera PENDI ha sido innovadora además de que ofrece diferentes funcionalidades, las cuales hace que el prototipo sea atractivo para los tutores, de igual forma se tomaron las recomendaciones de los usuarios en cuanto a la pulsera, debido a que podría reducirse el tamaño de la misma un poco más. Por otro lado, si bien, en cuestión de los datos, la pulsera obtiene coordenadas cercanas a las reales, no se garantiza que sean totalmente precisas. La encuesta piloto se aplicó a 2 cuidadores de niños con discapacidad intelectual, con fines exploratorios del prototipo.

Al principio, quienes usaron el prototipo notaron que la pulsera era un poco grande, aunque les resultó cómoda de llevar. Por otra parte, los cuidadores de los niños nos mencionaron que la pulsera era un poco grande, pero si se incluían varias funcionalidades las cuáles permitían llevar un mejor control, pues les ayudaba a monitorear los medicamentos, función que fue bastante útil.

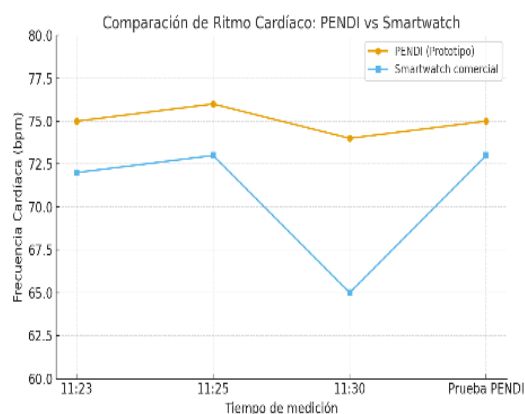


Figura 14 Comparación entre el prototipo PENDI y un smartwatch comercial en la medición del ritmo cardíaco

En la Figura 14 se observa la comparación de las lecturas de frecuencia cardíaca obtenidas con el prototipo PENDI y un smartwatch comercial. Los resultados muestran concordancia en el rango de reposo (61–76 bpm), con ligeras variaciones entre ambos dispositivos. Esto sugiere que, aunque el prototipo no garantiza la precisión total de un dispositivo comercial, sus lecturas se encuentran dentro de un rango aceptable para el monitoreo básico en tiempo real.

### Conclusiones

El desarrollo del proyecto ha culminado con la creación de la pulsera electrónica PENDI, una herramienta multifuncional diseñada para mejorar la supervisión de la salud cardiovascular y la ubicación de niños con discapacidad intelectual. A través de la implementación de tecnologías como el módulo Neo6mv2 para GPS, el monitoreo de frecuencia cardíaca y la comunicación con una plataforma web, el prototipo ha demostrado su eficacia en cumplir los objetivos establecidos.

Los resultados obtenidos tras las pruebas de validación confirman la precisión y utilidad de la pulsera PENDI en el seguimiento del ritmo cardíaco y la ubicación en tiempo real de los usuarios. Asimismo, el sistema de notificación mediante Telegram ha sido clave para garantizar la toma oportuna de medicamentos, contribuyendo así al cuidado integral de la salud de los niños.

Aunque el prototipo ha cumplido con los objetivos principales, se identifican áreas de mejora, como la reducción del tamaño del circuito para aumentar la comodidad de uso, especialmente para los niños. Estas mejoras potenciales podrían hacer que la pulsera sea aún más atractiva y práctica en su aplicación diaria.

En cuanto al costo de desarrollo, el prototipo de la pulsera PENDI tuvo un costo aproximado de 550 pesos mexicanos, considerando los módulos principales

(ESP32, MAX30102, GPS NEO-6MV2, batería recargable y carcasa 3D). Este costo es considerablemente menor al de algunos dispositivos comerciales, lo cual podría resultar accesible para familias de bajos recursos.

Una limitación identificada en el prototipo es la necesidad de conexión Wi-Fi para transmitir los datos a la plataforma web. En entornos sin acceso a una red de internet, actualmente el dispositivo no permite registrar ni visualizar la información. Otra alternativa sería la incorporación de una memoria local o un módulo con conectividad GSM (3G/4G), que permitiría la sincronización posterior de la información o su transmisión sin depender de redes Wi-Fi.

### Trabajos a Futuro

1. Mejora de batería sustituyendo por una de mayor capacidad, además de implementar estrategias de ahorro de energía, para prolongar la autonomía.
2. Reducción del tamaño del microcontrolador ESP32 para disminuir el tamaño del circuito.
3. Integración de un módulo GPS con conectividad 3G/4G para independencia de redes Wi-Fi.
4. Diseño de una pulsera más ergonómica y personalizada para cada usuario.

### Referencias

- [1] CDC, «Centros para el control y la prevención de enfermedades.,» 19 octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.cdc.gov/ncbddd/spanish/developmentaldisabilities/hoja-informativa-sobre-discapacidad-intelectual.html>. [Último acceso: 28 abril 2024].
- [2] A. Cabrera, «Prototipo de dispositivo de alerta "Ay Tá",» Revista de Tecnología e Innovación, 2017.
- [3] S.-L. J. Martín-Marco A, «Utilidad de los relojes inteligentes en las unidades de hospitalización a domicilio.,» Hospital a domicilio, 2020.
- [4] M. Perez MV, «Smartwatch to Identify Atrial Fibrillation,» pp. 381(20):1909-17, 2019.
- [5] A. Pérez, «Aplicación de Wwearables de pulseras en entornos educativos, para la caracterización del sueño y el estrés,» Universidad de Vigo, p. 127, 2019.
- [6] P. MV, «Large-Scale Assessment of a Smartwatch to Identify Atrial Fibrillation,» N Engl J Med, 2019.