

Exploración de parámetros hemodinámicos derivados de señales fotopletismográficas en sitios arteriales alternativos mediante enfoques experimentales y computacionales

Ana Nuñez

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires

Director: Dr. Leandro Cymberknop — Co-Directora: Ing. Eugenia Ipar

Cátedra Proyecto Final: Mg. Ing. Sebastian Verrastro, Mg. Ing. Pablo Sánchez, Mg. Ing. Mariano Vidal

Marco teórico

La detección temprana de alteraciones vasculares subclínicas es clave para una correcta evaluación del riesgo cardiovascular y la implementación de estrategias preventivas. La rigidez arterial (RA), como marcador del envejecimiento vascular y la hipertensión, es un predictor independiente de morbimortalidad cardiovascular. Si bien la Velocidad de Onda de Pulso carotídeo-femoral (VOPcf) constituye el gold-standard no invasivo para su evaluación, su aplicación clínica se ve limitada por la necesidad de operadores entrenados y por potenciales riesgos procedimentales. De manera complementaria, la Presión Aórtica sistólica Central (PACs) aporta información sobre la poscarga cardíaca, aunque su medición directa continúa siendo invasiva. En este contexto, las técnicas ópticas basadas en el análisis temporal, como la fotopletismografía, surgen como una alternativa no invasiva, segura y de fácil implementación para la evaluación vascular.

Objetivo

Este estudio presenta una evaluación integral de dos parámetros temporales, el Tiempo de llegada del Pulso (PAT por sus siglas en inglés) y la velocidad de la onda de pulso (VOP), en cinco sitios arteriales: carótida, temporal, radial, digital y tibial, mediante el uso de señales de ondas fotopletismográficas (PPGW), con el objetivo de investigar su potencial para la evaluación vascular no invasiva. Los objetivos específicos son:

- Evaluar la factibilidad de obtener estas mediciones mediante PPGW a través de registros in-vivo de señales fotopletismográficas y electrocardiográficas en una cohorte demográficamente diversa
- Analizar las variaciones relacionadas con la edad mediante bases de datos tanto in-silico como in-vivo
- Evaluar el desempeño predictivo de los distintos sitios arteriales para identificar cuál de ellos actúa como el mejor predictor de VOPcf y PACs.

Resultados

Las mediciones se obtuvieron exitosamente en 41 sujetos (63% mujeres, 70% con factores de riesgo cardiovascular) de entre 18 y 70 años; sin embargo, no todos los sitios arteriales presentaron señales de calidad suficiente. Entre los sitios evaluados, las arterias temporal y digital demostraron de manera consistente características favorables, incluyendo mayores tasas de éxito en la medición, señales de calidad robusta y fuertes asociaciones con la edad y el estado de riesgo cardiovascular. Los resultados se encuentran plasmados en la Figura 1.

Dado el número limitado de participantes in-vivo ($n = 41$), se empleó una base de datos in-silico [1] para el desarrollo de modelos de aprendizaje automático. Se entrenaron regresores de vectores de soporte para predecir VOPcf y PACs a partir de las mediciones temporales en los distintos sitios arteriales, con el objetivo de determinar cuál de ellos resultaba el predictor más robusto. El análisis mediante SHapley Additive exPlanations (SHAP) identificó a la arteria temporal como el sitio más informativo para la predicción tanto de VOPcf como de PACs.

Contacto e Información

• Proyecto Final - UTN-FRBA - <https://www.frba.utn.edu.ar/electronica/proyecto-final/>

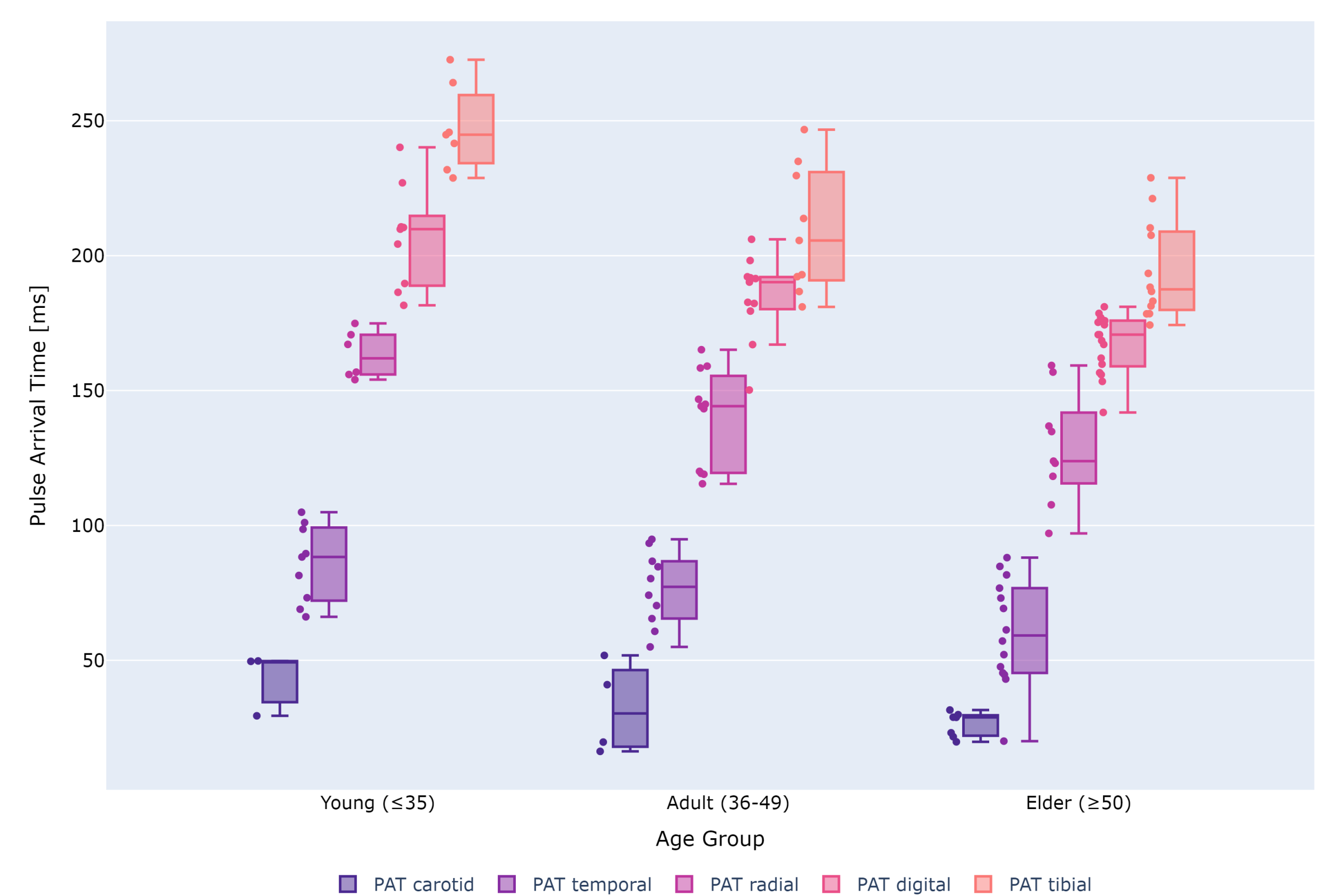


Figure 1: Tiempo de llegada del pulso (PAT) en distintos sitios arteriales para todos los sujetos del conjunto de datos in-vivo.

Finalmente, se entrenó una red neuronal completamente conectada utilizando los primeros 10 componentes principales derivados de 21 características morfológicamente relevantes extraídas de las señales de la arteria temporal. Sobre el conjunto de prueba independiente, el modelo alcanzó una excelente precisión para VOPcf y un desempeño sólido para PACs, como se muestra en la tabla.

Table 1: Métricas obtenidas del modelo para ambas salidas.

	VOPcf		PACs	
	Normalizado	[m/s]	Normalizado	[mmHg]
R^2	0.996	0.996	0.855	0.844
MSE	0.001	0.008	0.004	13.331
MAE	0.009	0.067	0.048	2.625
RMSE	0.012	0.093	0.067	3.651

R^2 : Coeficiente de determinación. MSE: error cuadrático medio. MAE: error absoluto medio. RMSE: raíz del error cuadrático medio.

Conclusiones

Estos resultados resaltan la relevancia diagnóstica de la arteria temporal y respaldan su uso en el monitoreo cardiovascular no invasivo, con potenciales aplicaciones tanto en la evaluación de la salud sistémica como cerebrovascular.

Referencias

- [1] Charlton, P. H., Mariscal Harana, J., Vennin, S., Li, Y., Chowienzyk, P., & Alastruey, J. *Modeling arterial pulse waves in healthy aging: a database for in silico evaluation of hemodynamics and pulse wave indexes*. American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology, vol. 317, no. 5, pp. H1062-H1085, Oct. 2019. doi: 10.1152/ajpheart.00218.2019.