

Design of a Portable System for Continuous Recording of Arterial Parameters during 24h

L. Bortolin, D. Craiem, *Member, IEEE*, J. Gogolino, *Member, IEEE*, G. Santoriello, A. Lutenberg, *Member, IEEE*, S. Graf, *Member, IEEE*

Abstract— The simultaneous measurement of pressure and diameter in a central artery during 24 hours could bring new information about the variability of the arterial mechanical properties. In order to perform these measurements in an animal, it is essential to count with a device that could acquire the signals from the sensors with a proper preconditioning circuit and then transfer them wirelessly to be stored and processed remotely. In this paper we present the prototype of a new portable and autonomous device, capable of being hosted on the animal's back. Preliminary results obtained from a pilot experience in a sheep using the prototype are detailed and limitations are discussed.

Keywords— arterial stiffness, 24-hour elasticity variability, ARM Cortex, conscious animal instrumentation.

I. INTRODUCCIÓN

EL ANÁLISIS de las propiedades mecánicas de las arterias puede ayudar a detectar precozmente las alteraciones del sistema arterial. Para lograr una caracterización completa de las propiedades geométricas, elásticas y viscosas de las arterias, nuestro grupo ha realizado numerosas experiencias en animales conscientes crónicamente instrumentados, en las cuales, mediante la implantación de sensores en la arteria aorta, se registraron y analizaron señales temporales de presión y diámetro arterial [1]. Dichos registros fueron adquiridos, en general, durante un intervalo de tiempo inferior al minuto. Sobre la base de estos hallazgos, nos hemos propuesto avanzar en la medición simultánea de presión y diámetro de una arteria central durante 24 horas y así aportar nuevas hipótesis sobre la variabilidad de las propiedades mecánicas durante el día. Es de particular interés estudiar qué sucede con la rigidez arterial en diferentes momentos del día, ya que esto podría contribuir a detectar anomalías en forma temprana y ayudar a predecir eventos cardiovasculares mayores [2].

Para poder realizar este tipo de experiencias, es de suma importancia poder contar con un dispositivo que registre las señales de los sensores, las acondicione, digitalice y almacene correctamente. En este trabajo se presenta, a) los resultados

obtenidos al utilizar un prototipo experimental para registrar en forma continua, durante 24 horas, una señal de presión aórtica y dos señales de diámetro aórtico, y b) el diseño de un a nueva versión mejorada del prototipo, para ser utilizado en futuras experiencias.

A. Ensayo inicial mediante prototipo experimental

Sobre la base de los requerimientos planteados, se desarrolló un primer prototipo de un dispositivo autónomo y portable [3], utilizando un microcontrolador dsPIC30F6014A (Microchip, USA). Básicamente posee una etapa de acondicionamiento de señales (filtrado y amplificación), una etapa convertora A/D de 12 bits y una etapa de almacenamiento de los datos en una tarjeta de memoria flash del tipo SD de 4GB. Posee capacidad de comunicación serial con una computadora para poder monitorizar las señales en tiempo real. El equipo permite adquirir y almacenar 3 canales simultáneos, a una frecuencia de muestreo configurable de 0.5, 1, 2 y 4 KHz. Asimismo permite configurar la duración y separación de los intervalos de tiempo deseados para la adquisición [3].

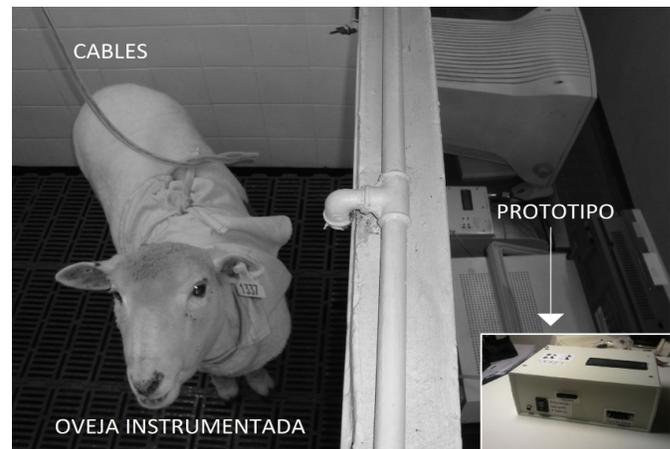


Figura 1. Montaje experimental para el registro continuo de señales de presión y diámetro en la aorta de una oveja instrumentada, utilizando el primer prototipo desarrollado.

Una vez desarrollado este primer equipo, se diseñó una experiencia piloto en ovejas para monitorear señales fisiológicas por 24 horas. Para ello se instrumentó la arteria aorta de una oveja adulta de 62 Kg de raza Corriedale. Para el registro de la onda de presión, se utilizó un transductor de

L. Bortolin, Universidad Favaloro (UF), Buenos Aires, Argentina, lpbortolin@gmail.com

D. Craiem, Universidad Favaloro (UF), Buenos Aires, Argentina, dcraiem@favaloro.edu.ar

J. Gogolino, Universidad de Buenos Aires (UBA), Buenos Aires, Argentina, jgogolino@gmail.com

G. Santoriello, Universidad de Buenos Aires (UBA), Buenos Aires, Argentina, gerardo.santoriello@gmail.com

A. Lutenberg, Universidad de Buenos Aires (UBA), Buenos Aires, Argentina, lse@fi.uba.ar

S. Graf, Universidad Favaloro (UF), Buenos Aires, Argentina, sgraf@ieee.org

estado sólido de alta fidelidad (Konigsberg), y para el registro de las señales de diámetro, cristales piezoeléctricos suturados a uno y otro lado de la pared de la aorta, conectados a un sonomicrómetro. Para la estimación de la rigidez arterial, por medio de la velocidad de la onda del pulso (VOP), se colocaron dos pares de cristales, separados a una distancia de 10 cm entre sí. A los 7 días de la cirugía se procedió a realizar el registro de los datos durante todo un día. El montaje puede observarse en la Fig. 1. Los mismos fueron adquiridos cada 0.5 mseg, acondicionados, digitalizados y almacenados en una memoria de estado sólido. Al día siguiente, mediante un software propio, los datos de la tarjeta de memoria fueron extraídos y se procedió al análisis y procesamiento de los mismos. Además de los valores sistólicos, medios y diastólicos de las señales, se detectó automáticamente latido a latido el pie de onda de las señales de diámetro proximal y distal. De este modo, midiendo el desfase de las señales se logró estimar la rigidez arterial por medio de la VOP [4]. Por primera vez pudimos lograr un registro continuo a lo largo de 24 horas en un animal consciente. En la Fig. 2 se visualizan las señales registradas mediante el prototipo preliminar.

Si bien las experiencias fueron exitosas, notamos que el animal no durmió de corrido más de 2 horas seguidas. Esto puede deberse al propio ambiente del bioterio, o bien a la incomodidad de los cables que emergen del lomo y se conectan al equipo. Es por ello que encaramos el diseño de un nuevo prototipo más compacto, autónomo y portátil, que sea capaz de alojarse en el lomo del animal y que le permita una total independencia de movimientos.

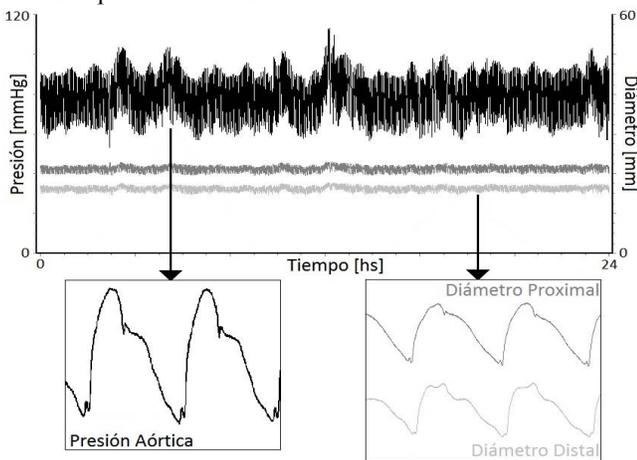


Figura 2. Registro de las señales de presión y diámetros aórticos por 24 horas con el primer prototipo.

B. Diseño de un nuevo prototipo portable

En base a las experiencias anteriores, se encaró el diseño de un segundo prototipo, que incluyera las siguientes características:

- Registro de al menos 2 señales de presión arterial de forma continua.
- Configuración de parámetros: frecuencia de muestreo entre 500Hz y 4KHz, ganancia y offset de los amplificadores.

- Comando del sistema y monitoreo de las señales de forma remota.
- Operación simple y sin cables: autonomía de la alimentación y comunicación remota.
- Almacenamiento de las señales en memoria extraíble estándar no volátil.
- Conversión A/D con una resolución mínima de 10-bit.
- Carcasa adecuada al entorno de operación.

Sobre esta base, se implementó un sistema basado en un microcontrolador LPC1769, compuesto por un procesador basado en un núcleo ARM Cortex-M3 de 32-bit con 512kB de memoria flash, 64kB de SRAM, reloj de hasta 120MHz y una variedad de periféricos disponibles, tales como un convertor A/D de 8 canales, 12-bit, UART, ethernet, entre otros. Para agilizar el desarrollo y permitir el avance rápido sobre los aspectos de programación y diseño analógico de un prototipo funcional, al comienzo se utilizó directamente el MCU montado en una plaqueta LPCXpresso. El modelo definitivo usa el integrado directamente soldado sobre un circuito impreso.

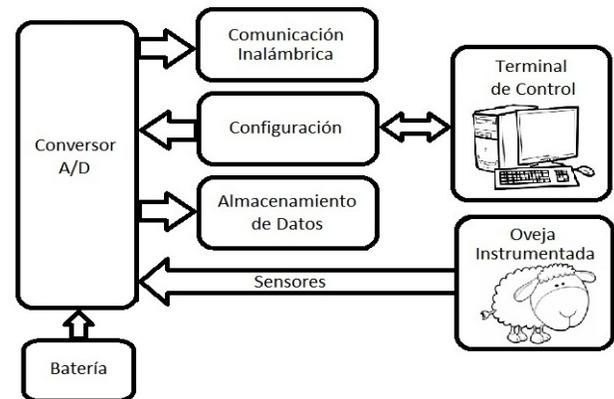


Figura 3. Diagrama en bloques del segundo prototipo para la medición de señales fisiológicas durante 24 horas.

La comunicación con el microcontrolador se lleva a cabo a través de la interfaz UART propia del LPC1769 y módulos XBee 802.15.4 XB24-AWI-001 con antena incorporada [5], que funcionan como un reemplazo directo de la comunicación serial EIA RS-232. El dispositivo de adquisición tiene un módulo XBee configurado como coordinador y, conectado a la PC de supervisión y monitoreo, otro en modo enrutador conectado a través de un puerto serial.

El sistema requiere dos tensiones de alimentación: 3.3V y 5V. La primera es un requerimiento para la alimentación del módulo LPCXpresso utilizado y, consecuentemente, la etapa digital. La segunda cubre las necesidades del resto del sistema, según la especificación del puente del sensor de presión y la cadena de señal analógica, con lo que también se maximiza el rango en la entrada del convertor A/D. Por la disponibilidad y facilidad de uso, se decidió utilizar como fuente de energía 4 pilas AA recargables de Ni-MH (4.8V). Para lograr los 5V estables a partir de esta fuente de energía, se usó un módulo pre-armado de step-up (Pololu # 791) [6]. En la Fig. 3 se

visualiza un diagrama en bloques del sistema en desarrollo y en la Fig. 4 se muestra el nuevo prototipo con el sistema inalámbrico de transmisión conectado a un sensor de presión de columna de fluido.



Figura 4. Nuevo prototipo portable en funcionamiento con un sensor de presión de columna de fluido.

II. DISCUSIÓN

Luego de realizar numerosas experiencias de monitoreo de señales fisiológicas en ovejas por diferentes periodos cortos de tiempo, se observó que existe un comportamiento distinto entre la variabilidad de la presión, el diámetro y la elasticidad arterial [7]-[8]. Por esta razón se decidió avanzar hacia un análisis durante 24 horas.

Para estudiar la factibilidad de la técnica, se desarrolló un primer prototipo y se realizó una experiencia en ovejas [9]-[10]. En dichas experiencias se utilizó un sonómetro externo, por lo que fue necesario que los cables de los sensores emergieran del lomo del animal, recubiertos por una manguera de silicona. Los resultados obtenidos, mostraron que fue posible registrar en forma continua durante 24 horas, la señal de presión y diámetro aórtico. También fue posible estimar en todo momento, la rigidez arterial, por medio de la VOP.

Sin embargo, esta configuración limitó seguramente el libre comportamiento del animal, ya que se notó que éste se despertaba periódicamente. Es por ello, que se propuso el diseño de un nuevo prototipo, portátil y autónomo, que no requiriese de cables externos. Se decidió comenzar con un dispositivo capaz de registrar dos señales de presión, provenientes de dos sensores de estado sólido, implantados en la arteria aorta de un animal, separados a una distancia conocida entre sí. De esta manera, en futuras experiencias, además de poder contar con los valores de presión a lo largo de todo el día, será posible estimar la rigidez arterial.

El nuevo prototipo desarrollado, fue probado in vitro, utilizando un sensor de presión del tipo de columna de fluido. Con pequeñas modificaciones, el sistema es fácilmente adaptable a otro tipo de sensores y extensible a mayor cantidad de canales. La autonomía y el peso del dispositivo pueden mejorarse si se utilizaran baterías con celdas de Li-Ion, en cuyo caso se requeriría un rediseño completo de la etapa de alimentación y la adición de algún esquema de recarga inteligente de las mismas, ya que es más difícil

retirarlas para recargarlas. Por otro lado, al abandonar el uso de la plaqueta de pruebas LPCxpresso, y montar el MCU directamente en un nuevo diseño del circuito impreso, se podría mejorar la estabilidad al ruido del convertor A/D. Esto será comprobado en nuevas experiencias a realizar próximamente.

III. AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo fue parcialmente subsidiado por proyecto PIP N° 112-200901-00734 (CONICET).

REFERENCIAS

- [1] R. L. Armentano, J. G. Barra, J. Levenson, A. Simon, R. Pichel, "Arterial wall mechanics in conscious dogs: Assessment of viscous, inertial, and elastic moduli to characterize aortic wall behavior", *Circulation Research* 76 (3): 468-478, 1995.
- [2] R. L. Armentano, J. G. Barra, F. Pessana, "Smart smooth muscle spring-dampers. Smooth muscle smart filtering helps to more efficiently protect the arterial wall", *IEEE Eng Med Biol Mag*, vol. 26, no. 1, pp. 62-70, 2007.
- [3] M. Alfonso, "Sistema portable para el cálculo y registro de parámetros fisiológicos", tesis de grado. FICEN, Universidad Favaloro, 2009.
- [4] S. Graf, D. Craiem, J. G. Barra, R. L. Armentano, "Estimation of local pulse wave velocity using arterial diameter waveforms: Experimental validation in sheep", *J. Phys. Conf. Ser.* 2011; 332 012010.
- [5] Digi Intl. Inc., XBee Wireless RF Modules, <http://www.digi.com/xbee/>.
- [6] Pololu Robotics & Electronics, Pololu Adjustable Boost Regulator 2.5-9.5V, <http://www.pololu.com/catalog/product/791>.
- [7] L. G. Gamero, R. L. Armentano, J. Levenson, "Arterial wall diameter and viscoelasticity variability", *Computers in Cardiology* 29:513-516, 2002.
- [8] D. Craiem, S. Graf, F. Salvucci, G. Chironi, J. L. Megnier, A. Simon, R. L. Armentano, "Physiological principles of the ambulatory arterial stiffness index explained by the non-linearity of arterial elasticity", *Physiological Measurements* 31(7):1037-46, 2010.
- [9] S. Graf, D. Craiem, M. Valero, M. Alfonso, J. G. Barra, R. L. Armentano, "Estudio de la Variabilidad de las Propiedades Mecánicas Arteriales en 24 horas: Prueba Preliminar en Oveja Consciente", V Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica, Habana, Cuba, Mayo 2011, IFMBE Proceedings 33, 2011.
- [10] S. Graf, D. Craiem, M. Valero, M. Alfonso, J. G. Barra, R. L. Armentano, "Mechanical properties of the aortic arterial wall during 24 hours: a preliminary study in conscious sheep", *J. Phys. Conf. Ser.* 2011; 332 012008.



Luciano Bortolin nació en Buenos Aires, Argentina, en 1989. Próximo a recibir el título de Ingeniero Biomédico de la Universidad Favaloro, se encuentra trabajando en el área de investigación en mecánica arterial de Universidad Favaloro, especializándose en el procesamiento de señales fisiológicas.



Damián Craiem recibió su título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires en 2007 y es profesor en la Universidad Tecnológica Nacional en Buenos Aires, donde se recibió de Ingeniero Electrónico en 2001. Actualmente es investigador del CONICET y trabaja en la Universidad Favaloro en temas relacionados con la Ingeniería Biomédica, el diagnóstico por imágenes y la mecánica arterial, asociados al estudio y prevención de enfermedades cardiovasculares.



Javier Gogliño es ingeniero electrónico de la Universidad de Buenos Aires y actualmente está preparando su tesis de maestría en energías renovables por la Universidad Nacional de Salta en sistemas de diagnóstico rápido para baterías estacionarias. Ha desarrollado su actividad en el ámbito privado y se ha especializado mayormente en el diseño de sistemas embebidos para comunicaciones. Actualmente sus intereses se centran en la aplicación de sistemas electrónicos de control en el campo de las energías renovables.



Gerardo Santoriello nació en Buenos Aires, Argentina, en 1982. Recibió el título de Ingeniero Electrónico en 2010 de la Universidad de Buenos Aires, donde actualmente se encuentra cursando la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos.



Ariel Lutenberg es profesor asociado en la Universidad de Buenos Aires y UTN-FRBA (Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires). Sus áreas de investigación son sistemas embebidos, microelectrónica y optoelectrónica.



Sebastián Graf nació en Buenos Aires, Argentina en 1971. Recibió el título de Bioingeniero de la Universidad Nacional de Entre Ríos, Argentina en 1995. En 2008 el título de Doctor en Fisiología de la Universidad de Buenos Aires. Trabaja desde hace más de 16 años en investigación biomédica participando activamente en diferentes etapas de la investigación científica y tecnológica, en la Universidad Favaloro y en la Universidad Tecnológica Nacional. Es investigador del CONICET. Durante los últimos años ha compartido la investigación básica y clínica con la coordinación del Instituto de Ingeniería Biomédica (I²B), instancia para la innovación en ingeniería biomédica. Es presidente del capítulo argentino de la IEEE EMBS (2011 y 2012). Dentro de sus áreas de interés se destacan la ingeniería cardiovascular, el procesamiento digital de señales e imágenes, el desarrollo de dispositivos de uso médico, el manejo de protocolos de investigación básica y clínica.