



Generación de vacío parcial para reducción de la presión intrabdominal en protocolos terapéuticos de larga duración con ABDOPRE

Schandy, A¹, Pracca, F², Simini, F¹

1. Núcleo de Ingeniería Biomédica de las Facultades de Medicina e Ingeniería
2. Departamento de Medicina Intensiva



INTRODUCCIÓN

La hipertensión intrabdominal (elevación patológica sostenida de la presión intrabdominal (PIA) por encima de 12 mmHg) es una condición de alta prevalencia entre los pacientes en cuidados intensivos. Su monitoreo y control es de extrema relevancia debido a las consecuencias fisiopatológicas que acarrea, incrementando el riesgo de muerte del paciente. Actualmente, la práctica usual para reducir la PIA cuando los tratamientos médicos no quirúrgicos no son suficientes, es mediante una laparotomía descompresiva [1]. Este es un procedimiento invasivo, por lo que resulta urgente buscar modalidades alternativas de reducción de la PIA que sean menos traumáticas para el paciente. ABDOPRE [2] surge en respuesta a esta necesidad, ofreciendo un método para reducir la PIA de forma controlada y mínimamente invasiva mediante la aplicación de una presión negativa sobre el abdomen del paciente. Se presentan en este trabajo las etapas de desarrollo de ABDOPRE, desde su concepción hasta la versión actual en prueba, describiendo su principio de funcionamiento y elementos para un futuro protocolo terapéutico.

PRINCIPIO DE OPERACIÓN

En la Fig. 1 se muestran los cuatro bloques funcionales que componen ABDOPRE: una campana que se ajusta sobre el abdomen del paciente, una bomba de vacío, un bloque de adquisición de señales y de control y un bloque de interacción con el usuario. ABDOPRE utiliza dos transductores de presión, uno que mide la PIA a través de una sonda vesical y otro que mide la presión en la campana. El bloque de control se encarga de comandar el encendido y apagado de la bomba en función de la medida de PIA en tiempo real y del protocolo de tratamiento [2].

El médico elige el protocolo de tratamiento en el tiempo, que consiste en la aplicación protocolizada de presiones negativas en la campana, incluyendo valores intermedios y descansos.

Sea PIA_0 la PIA inicial del paciente, PIA_f la PIA objetivo y $t_{tratamiento}$ el tiempo en el que se pretende alcanzar dicha presión, el protocolo más simple consiste en el siguiente patrón de reducción de la PIA:

$$r(t) = \frac{PIA_f - PIA_0}{t_{tratamiento}} \times t + PIA_0.$$

Sea ΔPIA_{MAX} la máxima tolerancia para la PIA, el sistema de control comanda la bomba de vacío con el siguiente criterio:

$$\begin{aligned} \text{Si } PIA(t) > r(t) + \Delta PIA_{MAX} &\rightarrow \text{Enciendo bomba} \\ \text{Si } PIA(t) < r(t) - \Delta PIA_{MAX} &\rightarrow \text{Apago bomba} \end{aligned}$$

La bomba genera un vacío parcial dentro de la campana, que a su vez provoca una distensión de la pared abdominal resultando en una reducción de la PIA [2].

El tiempo de tratamiento puede ser del orden de las decenas de minutos para garantizar que la reducción de presión se realice de forma paulatina, evitando cambios bruscos que podrían suponer complicaciones para el paciente. Como muestra la Fig. 2, una vez que se alcanza la PIA objetivo, el sistema de control puede seguir comandando la bomba durante horas para mantener la PIA en el rango deseado.

ETAPAS DE DESARROLLO

La versión original de ABDOPRE fue desarrollada en 2007 en el Núcleo de Ingeniería Biomédica de las Facultades de Medicina e Ingeniería (NIB). El software de este primer prototipo, desarrollado en Scilab, desplegaba en una pantalla la señal de presión intravesical, la presión en la campana y la presión deseada según el protocolo de tratamiento. El gabinete de ABDOPRE tenía un volumen de 2520 cm³ y un peso total de 1,6 Kg, con conexiones a la campana y fuente de alimentación de grado médico. ABDOPRE 2007 fue probado en cuatro pacientes en CTI con PIAs entre 12 y 15 mmHg, lográndose en tres de ellos una reducción de presión de 5 mmHg, 3 mmHg y 2 mmHg. La Fig. 3 muestra un ejemplo de la aplicación de ABDOPRE [3].

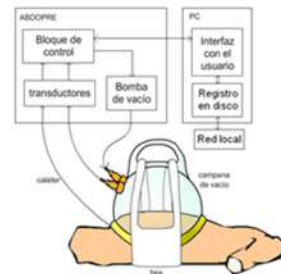


Fig 1. Diagrama de los componentes de ABDOPRE [2].



Fig 3. Aplicación de ABDOPRE. Izquierda: Paciente con PIA de 14 mmHg. Derecha: Luego de la aplicación de ABDOPRE, la PIA se reduce a 9 mmHg [3].

En 2016, los docentes del NIB realizaron una segunda versión de ABDOPRE, más pequeña, liviana y económica. En términos de hardware, se sustituyeron los sensores de presión por el modelo ARGON DTXPlus TNF-R, de uso habitual en el área de cuidados intensivos del Hospital de Clínicas. Además, se implementaron el bloque de control y la interfaz eléctrica sobre una placa Arduino y se sustituyó la fuente de alimentación por una batería. En la Fig. 4 se muestra el gabinete de ABDOPRE 2016, una caja impresa 3D en PVC de volumen 378 cm³ y peso 200 grs [4]. Por su parte, se reescribió el software en los lenguajes de programación Arduino y Python. El software de ABDOPRE recibe el protocolo de tratamiento definido por el médico y muestra en tiempo real la medida de PIA, de presión en la campana y de presión objetivo según el protocolo vigente.



Fig 4. Gabinete de ABDOPRE en 2007 y 2017. El volumen se redujo de 2520 cm³ a 378 cm³ [4].

En 2020 se renovó el software para hacerlo más eficiente, manteniendo las funcionalidades de interfaz gráfica con el usuario. Además se desarrolló un fantoma simple y práctico para probar ABDOPRE y se estudiaron nuevos materiales hipoalergénicos para la campana y su ajuste estanco sobre la piel.

CONCLUSIONES

Más de una década después de su concepción, ABDOPRE continúa siendo un proyecto disruptivo, con el potencial de convertirse en la terapia usual para la reducción controlada de la PIA durante el tratamiento de la hipertensión abdominal. La estrecha cooperación interdisciplinaria resultó en un equipo original, eficaz y seguro que responde a una necesidad clínica de larga data y gran importancia. Líneas de investigación a futuro incluyen realizar ensayos clínicos de la nueva versión de ABDOPRE. Además, la estimación de la PIA a través de la medida del espesor de la pared abdominal por bioimpedancia [5] introduce la posibilidad de prescindir del catéter en el monitoreo de la hipertensión intrabdominal.

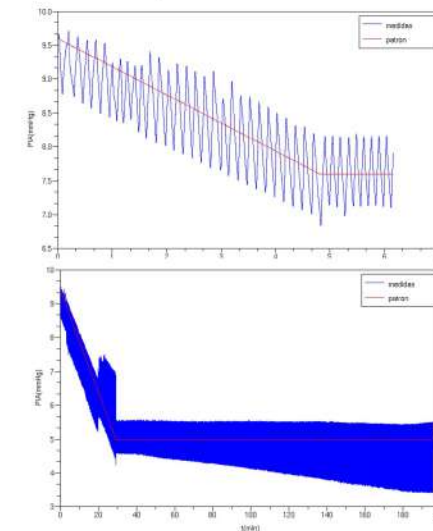


Fig. 2. Gráfica de PIA en tiempo real y patrón de reducción de la PIA. Arriba: Protocolo de corta duración. Abajo: Protocolo durante la noche [2].

REFERENCIAS

- [1] Kirkpatrick, A., Roberts, D., Malbrain, M., et al.: Intra-abdominal hypertension and the abdominal compartment syndrome: updated consensus definitions and clinical practice guidelines from the World Society of the Abdominal Compartment Syndrome World Society of the Abdominal. Intensive Care Med. 39, 1190–1206 (2013).
- [2] David, M., Pracca, F., Simini, F.: Non-invasive negative pressure system to treat abdominal hypertension. In: IFMBE Proceedings, vol. 37, pp. 211–214 (2011).
- [3] Pracca, F., Biestro, A., Gorrassi, J., et al.: ABDOPRE: dispositivo de aplicação externa para redução da pressão intra-abdominal: Experiencia clínica preliminar. Revista Brasileira de Terapia Intensiva 23, 238–241 (2011).
- [4] Schandy A., Pracca F., Simini F. Treatment of Abdominal Hypertension: Development of an Original Non-invasive Device ABDOPRE. IFMBE Proceedings, vol 75, pp. 567-574 (2020).
- [5] David, M., Yellin, E., Pracca, F., Simini, F.: Intra-Abdominal Pressure Monitoring by Surface Bioimpedance Estimation. Journal of Physics: Conference Series. (2019).

Información de Contacto:

Alicia Schandy: aschandy@fing.edu.uy
<http://www.nib.fmed.edu.uy/>