

## ARTÍCULO ORIGINAL

---

### Takuo Aoyagi (1936-2020). Artífice de la pulsioximetría

#### Takuo Aoyagi (1936-2020). Inventor of pulsioximetry

Fernando Gilsanz\*, Emilia Guasch\*\*

[fernando.gilsanz@uam.es](mailto:fernando.gilsanz@uam.es)

#### RESUMEN

Takuo Aoyagi es el bioingeniero que introduce el oxímetro de pulso. La pulsioximetría mide la saturación arterial de oxígeno. Está incluido en todos los mínimos de monitorización durante la cirugía por todas las sociedades científicas de la especialidad de anestesiología – medicina intensiva. El principio básico en el que se fundamenta es la ley de absorción de Lambert-Beer.

**PALABRAS CLAVE:** Takuo Aoyagi. Saturación arterial de oxígeno. Pulsioximetría.

#### ABSTRACT

Takuo Aoyagi is the bio engineer that introduced pulse oximetry. Pulse oximetry measures arterial oxygen saturation. Pulse oximetry is a monitoring device used in all surgical procedures. It is a monitor included in all National Standards of Monitoring of the specialty of anaesthesiology and critical care medicine. This monitor is based in the Lambert - Beer law.

**KEYWORDS:** Takuo Aoyagi. Arterial oxygen saturation. Pulse oximetry.

---

\* Académico de Número de la Real Academia de Doctores de España y de la Real Academia Nacional de Medicina

\*\* Servicio Anestesiología, Reanimación y Terapéutica del Dolor. Hospital Universitario la Paz/Cantoblanco/Carlos III/

El oxímetro de pulso es un monitor fundamental en la vigilancia del enfermo. La pulsioximetría no tiene ninguna contraindicación. Está incluido en todos los mínimos de monitorización durante la cirugía por todas las sociedades científicas de la especialidad de anestesiología – medicina intensiva. La oximetría de pulso monitoriza la saturación de oxígeno en sangre arterial. Este monitor combina los principios de la espectrofotometría y de la pletismografía. El principio básico en el que se fundamenta la espectrofotometría es la ley de absorción de Lambert-Beer, que relaciona la diferente absorción de la oxihemoglobina y la desoxihemoglobina de luz roja (660 nm) y luz infrarroja (940 nm) con la oxigenación de la hemoglobina. En concreto, la oxihemoglobina absorbe más luz infrarroja y la desoxihemoglobina absorbe más luz roja. El sensor del oxímetro de pulso tiene una fuente de luz, con dos diodos emisores (emiten luz monocromática cada 5-10  $\mu$ s) con diferentes longitudes de onda (660 nm y 940 nm) y un diodo detector. Los cambios de la absorción de la luz durante el pulso arterial determinan la saturación de oxígeno, la proporción de hemoglobina ligada al oxígeno. Mediante un microprocesador se calcula dicha saturación arterial de oxígeno. La correlación entre la SpO<sub>2</sub> y la presión arterial de oxígeno está determinada por la curva de disociación de la hemoglobina. La pulsioximetría no mide en tiempo real; hay un desfase de unos 20 segundos entre la caída de la presión arterial de oxígeno y el descenso de la SpO<sub>2</sub>. En situaciones de normalidad, la saturación arterial de oxígeno se acerca al 100%. Una saturación arterial de oxígeno del 90% se corresponde, en una curva de disociación de la hemoglobina normal, con una presión parcial de oxígeno de 60 mm Hg. Durante la cirugía y en los pacientes ingresados en las unidades de cuidados críticos la saturación de oxígeno debe ser mayor de 92-94%. Una lectura en el oxímetro de pulso por debajo del 90% indica hipoxemia. El sensor del pulsioxímetro se suele colocar en un dedo de la mano, del pie, o en el lóbulo de la oreja. (1-2)

Takuo Aoyagi el artífice de la pulsioximetría, nació el 14 de febrero de 1936 en “*Niigata Prefecture*”, Japón. Hijo de un profesor de matemáticas y de un ama de casa, Tatsu Aoyagi y Monshichi estudió Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Niigata, graduándose en 1958. Inicialmente fue un ingeniero investigador de la compañía “*Shimadzu Corporation*”, en Kioto, en el departamento “*Central Research Laboratory*”. En esta empresa de tecnología se interesó por la monitorización del enfermo. En 1966, trabajó en la sección de electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Tokio, donde inició su línea de investigación de monitorización del gasto cardiaco, analizando la dilución de colorante. En 1969 cursó en la Universidad Baylor en Houston, Texas, la asignatura Fisiología y Monitorización dirigida por los profesores H.A. Hoff y L.A. Geddes. Como conclusión de esta estancia, pensó que el objetivo final de la monitorización del paciente debía estar orientado hacia el tratamiento y que se debía fundamentar en técnicas incruentas. En 1971 comenzó a trabajar en “*Nihon Kohden Corporation*”, Tokio. La afirmación del fundador de “*Nihon Kohden Corporation*” el Dr. Yoshio Ogino: “*a skilled physician can treat only a limited number of patients. But an*

*excellent medical instrument can treat countless patients in the world*”, fue uno de los motivos de su incorporación a esta empresa.

Aoyagi permaneció cincuenta años en esta compañía de tecnología. A sus investigaciones iniciales sobre el gasto cardiaco, le siguieron tres proyectos sobre oximetría de pulso (elaboración de un modelo piloto, planteamientos teóricos para mejorar la monitorización de la saturación periférica de hemoglobina, patente del monitor definitivo) y su último proyecto sobre la metodología de la impedancia para la monitorización pulmonar. Takuo Aoyagi se doctoró, Ph.D, en 1993 en Ingeniería en la Universidad de Tokio. La Tesis Doctoral versaba sobre oximetría de pulso: *“Study of the non-invasive measurement of light absorbing materials in the blood using the arterial pulse”*.

En la historia de la auto-experimentación en anestesia, es de justicia recordar a Takuo Aoyagi quien, a los 79 años de edad, en 2015, ya comercializada la pulsioximetría seguía investigando sobre las ventajas de emplear cinco longitudes de onda monocromáticas frente a dos, presentando en una reunión un prototipo de oxímetro de pulso en sí mismo (comprimiendo la circulación de su dedo) para demostrar las ventajas del mismo.

Durante su vida profesional obtuvo varios premios. En 1995, recibió el Premio de la *“Medical Instrument Society”* de Japón. En 2007, fue condecorado con la Medalla de Honor del Emperador, Lazo Morado, (*Medal with Purple Ribbon*) por el Gobierno de Japón. Ese mismo año, también fue premiado con el *“Social Prize”* de la *“Japanese Society of Anesthesiologists”*. En 2012, recibió *“The Harvey W. Wiley Lifetime Achievement Award”*. En 2013, fue premiado por la *“Society for Technology in Anesthesia”* con el *“Gravenstein Lifetime Achievement Award”*. En 2015, se le otorgó la medalla del *“Institute of Electrical and Electronics Engineers” (IEEE Medal for Innovations in Healthcare Technology)*. En octubre de 2020 la *“House of Delegates”* de la *“American Society of Anesthesiologists”*, ASA, le distinguió con el nombramiento de *“Honorary Member”* por su descubrimiento del pulsioxímetro. El 10 de octubre de 2021, en el Congreso Anual de la ASA, se celebró la ceremonia de concesión de la distinción. El 25 de octubre de 2020, el Primer Ministro de Japón le concedió el prestigioso *“4th Grand Prize for Medical Research and Development”* Estos dos últimos premios se le otorgaron después de su fallecimiento. (3-6)

Katsuyuki Miyasaka, discípulo de Aoyagi, escribió un artículo conmemorativa, en el primer aniversario de su fallecimiento, en la revista japonesa, editada en inglés, *“Journal of Anesthesia”* presentado y comentando los artículos más destacados de Takuo Aoyagi. En este número monográfica homenaje a Takuo Aoyagi, colaboraron destacados anestesiólogos japoneses y norteamericanos. (7)

Las investigaciones iniciales de Takuo Aoyagi versaron sobre las técnicas de dilución de colorante para medir el gasto cardiaco. Durante la ejecución de éstas observó interferencias debidas al flujo sanguíneo pulsátil y elaboró una fórmula matemática para obviar la dispersión en las cuantificaciones del gasto cardiaco. Esto motivó el desarrollo de la oximetría de pulso.

A la instauración como monitor vital de la pulsioximetría en USA, además de Aoyagi, han contribuido entre otros, los anestesiólogos Bill New, Mark Yelderman, John Severinghaus, Jeffrey B. Cooper.

Takuo Aoyagi fue propuesto en dos ocasiones para el Premio Nobel. La segunda vez en 2013, por el Profesor Kirk Shelley de la Universidad de Yale. Su nominación se fundamentaba en el descubrimiento del *“Ratio of Ratios”*, la base del funcionamiento del pulsioxímetro. En palabras textuales de Aoyagi sobre el ratio: *“These (pulsations) prevented accurate extrapolation of the down-slope of the dye curve after recirculation begins. I investigated this problem mathematically using the Lambert-Beer law. Then, I conceived the idea of eliminating the pulsation by computing the ratio of optical densities of the two wavelengths. This supposition was proved workable by experiments”*. El Profesor Shelley también señaló que la importancia de la contribución científico-técnica de Aoyagi, era semejante a las de Willem Einthoven, en 1924, por el electrocardiograma, Allan Cormack y Sir Godfrey Hounsfield en 1979, por la TAC (*computer assisted tomography*) y Sir Peter Mansfield en 2003, por la resonancia nuclear magnética (RNM). (6-7)

Es interesante destacar que en 1997 el Profesor de Anestesiología del Instituto Karolinska Sten Lindahl, siendo miembro y presidente del comité que otorgaba los Premios Nobel de Medicina y Fisiología, defendió la candidatura de Tokuo Ayagi para el premio presentada por la Sociedad Japonesa de Anestesia Pediátrica.

Tokuo Ayagi falleció el día 18 de abril de 2020, a los 84 años de edad. Dejó esposa, Yoshiko, y tres hijos. (7)

La importancia de la contribución de Takuo Aoyagi se evidencia en La Fundación Lifebox una iniciativa de la *“Association of Anaesthetists of Great Britain and Ireland”*, *“Brigham and Women Hospital”*, *“Harvard T.H. Chan School of Public Health”* y la *“World Federation of Societies of Anaesthesiologists”*. Lifebox es una organización sin ánimo de lucro que tiene por objetivo, entre otros, equipar con un pulsioxímetro todos los quirófanos del mundo. Cuando en 2008, la *“World Health Organization”* recomendó la *“Surgical Safety Checklist”* el único monitor incluido en la misma era el pulsioxímetro. Hasta la fecha se han donado más de 26000 pulsioxímetros a 116 países con el objetivo de mejorar la seguridad del enfermo.

El Profesor Atui Gawande, de la Fundación Lifebox escribió en la publicación en homenaje a Takuo Aoyagi: *“It is hard to express the scale of transformation in patient care that resulted from Dr. Takuo Aoyagi’s invention of the pulse oximeter. Effective safety monitoring is an essential part of patient care. Pulse oximeters gave us a way to monitor, with a simple finger probe, the oxygenation of people’s blood. That rapidly made them indispensable and lifesaving across health care -from the operating room and intensive care- to the identification of childhood pneumonia, to the triage of COVID-19 patients. They have become so universal we can all too easily forget that this transformation in patient care happened in our lifetime. We hope that Dr. Aoyagi’s family and loved-ones will find solace in the millions of lives that have been-and will continue to be saved throughout the world because of his genius. Our gratitude to Dr. Aoyagi is boundless. On behalf of Lifebox, thank you”*. (7)

El estudio de la historia de la exploración clínica nos enseña que ha existido algún otro ejemplo en que se dudó de la importancia de este, como ocurrió con el pulsioxímetro. Así el estetoscopio de René Laennec (1781-1826) planteó dudas respecto a su empleo: *“A pesar de su valor, es extremadamente dudoso que se vaya a usar nunca de manera general, pues su correcta aplicación requiere mucho tiempo y comporta problemas importantes tanto para el paciente como para el médico, y debido también a que el sonido que ofrece y sus características son extrañas y opuestos a todos nuestros hábitos y costumbres”*. (8)

## BIBLIOGRAFÍA

---

- 1-AOYAGI T, FUSE M, KOBAYASHI N, MACHIDA K, MIYASAKA K. Multiwavelength pulse oximetry. Theory for the future. *Anesth Analg*. 2007;105(6 Suppl):s53-8.
- 2-AOYAGI T. Pulse oximetry: its invention, theory and future. *J Anesth*. 2003;17:259-266.
- 3-HANNENBERG AA. TAKUO AOYAGI, Ph.D., American Society of Anesthesiologists Honorary Member. *Anesthesiology*. 2021;135:591-596.
- 4-YAMAKAGE M. Pulse oximetry: the outstanding achievement of Dr. Takuo Aoyagi. *J Anesth*. 2021;35:605.
- 5-MIYASAKA K. Do we really know how pulse oximetry works? *J Anesth*. 2003;17:216-217.
- 6-VAN METER A, WILLIAMS U, ZAVALA A, KEE J, REBELLO E, TSAI J, IFEANYI I, RUIZ J, LIM J, OWUSUKU-AGYEMANG P. Beat to beat: A measured look at the history of pulse oximetry. *Journal of Anesthesia History*. 2017;3:24-26.
- 7-MIYASAKA K, SHELLEY K, TAKAHASHI S, KUBATO H, ITO K, YOSHIYA I, YAMANISHI A, COOPER JB, STEWARD DJ, NISHIDA H, KIANI J, OGINO H, SATA Y, KOPOTIC RJ, JENKIN K,

HANNENBERG A, GAWANDE A. Tribute to Dr. Takuo Yaoyagi, inventor of pulse oximetry. J Anesth.2021;35:671-709.

8-RENÉ LAENNEC The Times de Londres 1834 sobre el estetoscopio. Citado en Fernando A. Navarro. Medicina en Español. VI. Fundación Lilly. Ediciones Cálamo. 2022. página 297.