



ORIGINAL

Valor pronóstico de la TcPO₂ en la cicatrización de lesiones en pie diabético tras revascularización



S. Vicente Jiménez*, J.M. Alfayate Garcia, J.P. Sanchez Rios, S. Cancer Perez, F. Criado Galán, M. Gutierrez Baz y L. de Benito Fernández

Hospital Universitario Fundación de Alcorcón, Alcorcón, Madrid, España

Recibido el 18 de diciembre de 2014; aceptado el 4 de marzo de 2015
Disponibile en Internet el 21 de abril de 2015

PALABRAS CLAVE

Presión Transcutanea de Oxígeno;
Pie diabético;
Lesiones;
Revascularización

Resumen

Introducción: La medición de la presión transcutánea de oxígeno (TcPO₂) es una herramienta útil en el diagnóstico vascular no invasivo, además de ser una prueba con valor pronóstico de cicatrización de úlceras vasculares antes y después de la revascularización.

Objetivo: Nuestro estudio tiene como objetivo hallar el valor umbral de TcPO₂ más fiable para predecir la cicatrización, así como valorar si el ascenso de la TcPO₂ tras una revascularización es un buen predictor de buena evolución tras la misma en pacientes diabéticos isquémicos con úlceras isquémicas.

Material y métodos: Realizamos un estudio retrospectivo de la base de datos de la Unidad de Pie Diabético del Hospital Universitario Fundación de Alcorcón, mantenida prospectivamente. Se reclutaron pacientes diabéticos con ulceración y criterios de isquemia crítica, sobre los que se realizó TcPO₂ pre y posrevascularización. Se registró el tipo de lesión (clasificación de TEXAS), tipo de revascularización, éxito de cicatrización y tiempo hasta la misma.

Resultados: Se encontraron 18 pacientes, el 72% eran varones y el 28% mujeres. La edad media fue de 68 años, el 94,7% eran hipertensos, el 73,7% tenían dislipidemia y el 63,2% presentaban retinopatía. Se realizaron en total 19 revascularizaciones, de las cuales 13 fueron endovasculares, 4 bypass y 2 procedimientos híbridos. El ITB no fue valorable en el 68%. Se obtuvo una tasa de cicatrización del 53% y una mediana de tiempo hasta la misma de 103 días. La media de los valores preoperatorios de TcPO₂ en cicatrizados y no cicatrizados fue de 14,6 ± 9,40 y 18,6 ± 12,93 mm Hg respectivamente (p=0,4404). Los niveles postoperatorios fueron de 40,8 ± 10,85 mm Hg en cicatrizados y de 23,5 ± 13,27 mm Hg en no cicatrizados (p=0,0063). Mediante el análisis de las curva ROC determinamos que cifras de TcPO₂ superiores o iguales a 35 mm Hg eran cifras superiores o indicadores de buen pronóstico para la cicatrización. El incremento de la TcPO₂ por encima de 15 mm Hg es un factor de buen pronóstico tras la revascularización en el pie diabético.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: sandravj1984@gmail.com (S. Vicente Jiménez).

Conclusiones: La TcPO₂ es una herramienta útil para determinar el valor pronóstico en la cicatrización del paciente diabético con isquemia crítica, especialmente en pacientes con presiones parciales no valorables. El valor umbral de buen pronóstico de cicatrización se sitúa, según nuestro estudio, en una cifra ≥ 35 mm Hg. También es factor de buen pronóstico el incremento de la TcPO₂ por encima de 15 mm Hg respecto del valor basal tras la revascularización.

© 2014 SEACV. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

KEYWORDS

Transcutaneous oxygen pressure;
Diabetic foot;
Healing;
Revascularization

TcPO₂ prognostic value of healing in diabetic foot after revascularization

Abstract

Introduction: The measurement of transcutaneous oxygen pressure (TcPO₂) is a useful tool in non-invasive vascular diagnosis, as well as being a valuable prognostic test of vascular ulcer healing before and after revascularization.

Objective: The aim of this study was to determine the most reliable TtPO₂ cut-off value for predicting healing, as well as to find out if the increase in the TcPO₂ after revascularization can be predictor of a good outcome after this intervention in diabetic patients with ischemic ulcers.

Material and methods: A retrospective study was performed using the prospectively maintained data base of the Diabetic Foot Unit of the Hospital Universitario Fundación de Alcorcón. Diabetic patients with ulceration and critical ischemia criteria were included, particularly those that had TcPO₂ performed before and after revascularization, successful wound healing and time to healing.

Results: A total of 18 patients were found, of whom 72% were males and 28% females. The mean age was 68 years, with 94.7% hypertension, 73.7% dyslipidemia, and 63.2% retinopathy. A total of 19 revascularizations were performed, of which 13 were endovascular, 4 bypass, and 2 hybrid procedures. The ankle-brachial index was not assessable in 68%. A healing rate of 53% and a median time to healing of 103 days were obtained. The mean preoperative TcPO₂ values in healed and non-healed was 14.6 ± 9.40 and 18.6 ± 12.93 mm Hg, respectively ($P = .4404$). The mean postoperative levels of TcPO₂ were 40.8 ± 10.85 mm Hg in healed and 23.5 ± 13.27 mm Hg in non-healed ($P = .0063$). Using ROC curve analysis, it was determined that TcPO₂ levels equal to or greater than 35 mmHg were indicators of a good prognosis for wound healing. An increase in the TcPO₂ above 15 mm Hg is a factor of a good prognosis after revascularization of diabetic foot.

Conclusions: TcPO₂ is a useful tool for determining the prognostic value in wound healing in the diabetic patient with critical ischemia, particularly in patients with non-assessable partial pressures. The cut-off for a good prognosis of wound healing, according to this study, is equal to or greater than 35 mm Hg. An increase in the TcPO₂ above 15 mm Hg from the baseline value is also a factor of a good prognosis after revascularization. Palabras clave: Presión Transcutanea de Oxígeno; Pie diabético; Lesiones; Revascularización

© 2014 SEACV. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

La prevalencia de pie diabético se estima entre el 1,3% al 4,8% del total de los diabéticos a nivel mundial¹. Aproximadamente el 15% de los diabéticos desarrollarán una úlcera en el pie, pudiendo desembocar en una amputación de la extremidad².

La neuropatía periférica, autonómica, el estrés mecánico y la enfermedad arterial periférica (EAP), junto con la alteración en la microcirculación son el sustrato sobre el que se asienta el síndrome del pie diabético³ y las complicaciones secundarias en los miembros inferiores, tales como ulceración e infección⁴.

En junio de 2000 *The TransAtlantic Inter-society Consensus* (TASC) definió la isquemia crítica como la presencia de dolor de reposo, úlcera o gangrena en los miembros

inferiores, atribuible de forma objetiva a enfermedad arterial oclusiva⁵ la presión del tobillo < 50 o 70 mm Hg o presión digital < 30 o 50 mm Hg o una presión transcutánea de oxígeno < 30 o 50 mm Hg fueron sugeridos como criterios objetivos para el diagnóstico de isquemia crítica. En junio de 2007 la nueva versión del TASC fue publicada, aceptándose los valores previos de las presiones parciales y estableciendo el valor umbral de presión transcutánea de oxígeno (TcPO₂) en 30 mm Hg.

Se ha sugerido que la TcPO₂ nos ayuda a establecer la presencia de alteraciones en la perfusión tisular distal, estratificar la gravedad, predecir la curación potencial de las lesiones y/o amputaciones, evaluar la afectación microvascular y determinar el estado vasomotor cutáneo.

Aunque un elevado número de autores ha intentado determinar la correlación entre medidas de la $TcPO_2$ y la correcta cicatrización, el debate aún sigue abierto.

Nuestro estudio tiene como objetivo hallar el umbral de $TcPO_2$ más fiable para predecir cicatrización y valorar si el ascenso de la $TcPO_2$ tras una revascularización es un buen predictor de buena evolución en pacientes diabéticos isquémicos críticos.

Material y métodos

Selección de pacientes y técnica

La valoración de los pacientes incluidos en el estudio se realizó en la Unidad de Pie Diabético del Hospital Universitario Fundación Alcorcón. Esta unidad se basa en el modelo Toe-Flow, donde la figura del *gatekeeper* es desarrollada por el podólogo especializado en pie diabético.

Los pacientes son derivados a esta unidad desde otros centros sanitarios, el Servicio de Urgencias y desde otros servicios médicos y/o quirúrgicos del hospital. Todos los pacientes incluidos en el estudio acudieron con una úlcera activa de etiología isquémica o neuroisquémica.

Inicialmente se realizó a todos los pacientes un *screening* neuropático, basado en la valoración de la sensibilidad superficial mediante monofilamento de Semmes-Weinstein (MSW) (Novalab Ibérica, Alcalá de Henares, España) y valoración de la sensibilidad profunda mediante ultraneurobotensiómetro (NBT) (Meteda, San Benedetto del Tronto, Italia). Se clasificó como afectación neuropática la ausencia de sensibilidad en más de 4 puntos sobre 10 en la prueba del MSW o la ausencia de sensibilidad vibratoria por encima del umbral de 25 v al NBT.

Posteriormente se realizó el *screening* vascular mediante la palpación de pulsos distales e índice tobillo brazo (ITB) (Biflow 4, Hadecco Inc. Arima, Japón). Previa a la revascularización se realizaron las pruebas diagnósticas habituales en nuestro laboratorio de diagnóstico vascular: medida de presiones parciales segmentarias, cartografía arterial dúplex (Envisor, Philips, Bothell, EE. UU.) y oximetría transcutánea en el miembro inferior a estudio (TCM 400, Radiometer, Copenhage, Dinamarca) (fig. 1).

De esta forma se elaboró un análisis retrospectivo de la base de datos de la unidad de pie diabético mantenida prospectivamente. El periodo de estudio fue comprendido entre junio de 2012 hasta marzo de 2014. Se reclutaron pacientes diabéticos con isquemia crítica y úlcera isquémica o neuroisquémica activa, a los que se realizó la medición de oximetría transcutánea antes y después de la revascularización.

Las lesiones de los pacientes se clasificaron de acuerdo a la Clasificación de la Universidad de Texas (tabla 1). Todos

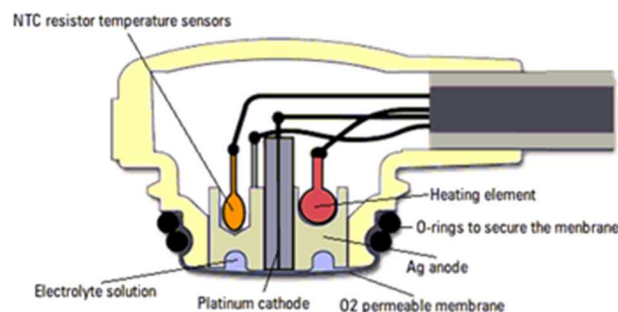


Figura 1 Oximetría: TCM 400, Radiometer.

los pacientes fueron incluidos tras la revascularización en el protocolo de curas de la unidad de pie diabético compuesto por cura local húmeda básica, terapia de cura avanzada si era necesario: terapia de presión negativa, ozonoterapia, etc., y terapia de descarga temporal personalizada según las recomendaciones de las guías internacionales de tratamiento.

Resultados de presión transcutánea de oxígeno

Las mediciones no invasivas de $TcPO_2$ fueron obtenidas en todos los pacientes antes y después del procedimiento revascularizador. La $TcPO_2$ fue obtenida usando el modelo TCM400 (Radiometer, Copenhage, Dinamarca). Un electrodo de Clark modificado fue colocado y calibrado sobre la piel. Se procedió a la medición obteniendo el resultado final tras 10 min. La piel había sido previamente limpiada correctamente con una gasa con alcohol. El electrodo se coloca sobre el tejido sano y viable del dorso del pie, lo más próximo a la úlcera del pie, con el paciente en decúbito supino. Este procedimiento fue realizado previo a la revascularización en todos los pacientes, y añadido a las pruebas diagnósticas habituales que se realizan en nuestro laboratorio de diagnóstico vascular para estos pacientes (medida de presiones parciales y cartografía arterial con dúplex). La $TcPO_2$ de control postoperatoria se realizó entre los 10 días y el mes posterior a la revascularización, nunca en el postoperatorio inmediato. Se realizaba una fotografía de la extremidad con los electrodos colocados antes de la intervención, para usar la misma área de la piel al obtener la $TcPO_2$ después de la intervención, y se clasificó el tipo de lesión según la clasificación de TEXAS⁵ y se registró la técnica quirúrgica aplicada.

El éxito técnico de los abordajes endovasculares fue definido como estenosis residual inferior al 20% de los vasos angioplastiados.

Tabla 1 Clasificación de pie diabético de la Universidad de Texas

	0	1	2	3
A	Lesión preulcerosa	Úlcera superficial	Úlcera penetra tendón o cápsula	Úlcera afecta hueso
B	Infección	Infección	Infección	Infección
C	Isquemia	Isquemia	Isquemia	Isquemia
D	Infección e isquemia	Infección e isquemia	Infección e isquemia	Infección e isquemia

Tabla 2 Características poblacionales de nuestro estudio según la clasificación de Texas

Texas	I	II	III
C	26,12%	10,52%	10,52%
D	0%	15,79%	36,85%

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó usando la «t» de Student para las variables cuantitativas. Para determinar el mejor punto de corte de la TcPO₂ para pacientes cicatrizados o no se utilizó la curva ROC. Un valor de 0,05 fue considerado como significativo.

Resultados

Técnica y resultados clínicos

Dieciocho pacientes diabéticos con úlceras isquémicas fueron incluidos en el estudio, a los cuales se les realizaron 19 revascularizaciones. El 72% de los pacientes fueron hombres y el 28% mujeres. El 94,9% eran hipertensos, el 73,7% tenían dislipidemia y el 63,2% presentaban retinopatía asociada. Un 57,9% tenían antecedentes vasculares ([[tabla 2](#)] estratificación de los pacientes según la Clasificación de Texas). En cuanto a sus antecedentes 3 pacientes (15,8%) habían sido sometidos a revascularización endovascular previa y 4 pacientes (21%) tenían antecedentes de revascularización mediante cirugía abierta.

Dos pacientes estaban en hemodiálisis (11,1%). En un 68% (13/19) el ITB no fue valorable por presión falsamente elevada o no compresible.

Trece procedimientos fueron endovasculares: 11 recanalizaciones infrapoplíteas y 2 de arteria femoral superficial. A 4 pacientes se les realizó cirugía abierta: 1) bypass con vena safena interna (VSI) ipsilateral de tercera porción poplíteas a pedia; 2) endarterectomía de la arteria femoral común (AFC) y profundoplastia con dacrón más bypass de la arteria femoral superficial (AFS) a tercera porción poplíteas con VSI; 3) endarterectomía de AFC y bypass de AFC a arteria femoral superficial; y 4) bypass aortobifemoral con endarterectomía de la AFC, profundoplastia bilateral y bypass femoropoplíteo a tercera porción con VSI.

En 2 pacientes se realizó un procedimiento híbrido, siendo el procedimiento endovascular infrapoplíteo.

La tasa de cicatrización fue del 53% (10/19). El tiempo de cicatrización (mediana) fue de 103 días. Nueve pacientes no cicatrizaron (los 2 pacientes que presentaban insuficiencia renal), se realizaron 3 amputaciones mayores y un paciente falleció.

Resultados de presión transcutánea de oxígeno

La TcPO₂ fue medida en todos los pacientes antes y tras la revascularización. El valor medio de TcPO₂ preoperatorio en los pacientes cuyas úlceras cicatrizaron fue de 14,6 mm Hg (SD: ±9,4) y en el grupo de pacientes que no cicatrizaron 18,6 mm Hg (SD: ±12,9) con una p = 0,44, por lo que no hubo

Tabla 3 Resultados posrevascularización

Revascularización	Cicatrizados (n = 10)	No cicatrizados (n = 9)
Endovascular (n = 13)	6	7
Cirugía abierta (n = 4)	2	2
Híbridos (n = 2)	2	0

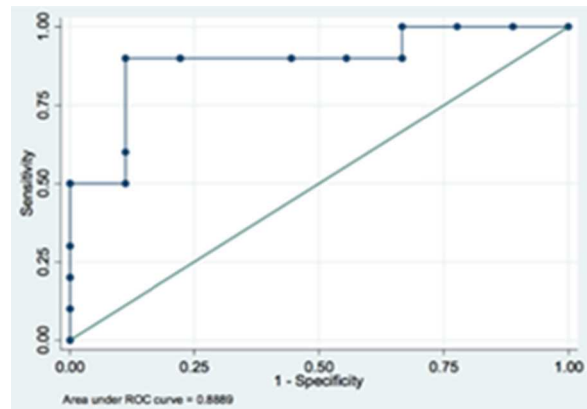


Figura 2 Curva ROC. Parámetros de sensibilidad y especificidad para un punto de corte ≥ 35 mm Hg.

diferencias significativas entre ambos grupos antes de la revascularización ([tabla 3](#)). El valor medio de TcPO₂ postoperatorio en los pacientes cicatrizados fue de 40,8 mm Hg (SD: ±10,8) y en los pacientes cuyas úlceras no cicatrizaron la TcPO₂ fue de 23,5 mm Hg (SD: ±13,2), p = 0,0063.

El análisis del área bajo la curva ROC determinó que el nivel de TcPO₂ a partir del cual todas las lesiones habían cicatrizado era de 35 mm Hg, con una S = 90% (IC 95%: 59,6-98,29) y una E = 88,9% ([figs. 2 y 3](#)) (IC 95%: 56,5-98). El 89,47% de los pacientes fueron correctamente clasificados.

Un incremento de los niveles de TcPO₂ ≥ 15 mm Hg se mostró como un buen predictor de cicatrización tras la revascularización en el pie diabético, con una sensibilidad del 90% y una especificidad del 77,78%.

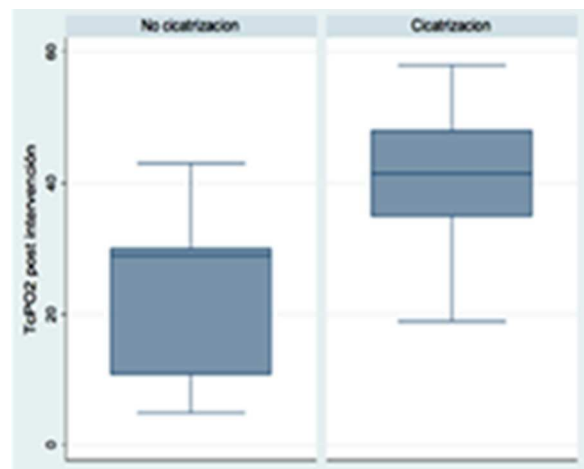


Figura 3 Valor medio TcPO₂ postoperatorio.

Discusión

Las pruebas diagnósticas usadas actualmente para el diagnóstico de la isquemia arterial crítica son fundamentales. La presencia de calcificación de la media, la ausencia de pulsos debido a la oclusión de los vasos produce en ocasiones una sobreestimación en las mediciones de las presiones arteriales periféricas. Este hecho hace que las características morfológicas y clínicas de los pacientes diabéticos con isquemia arterial difieran de los pacientes no diabéticos, siendo por tanto el diagnóstico más complicado en los pacientes diabéticos.

Por añadido la imposibilidad de medir la presión digital como resultado de la calcificación de las arterias digitales, la presencia de úlceras o amputaciones menores hacen que este método sea impracticable en muchos casos.

La oximetría permite investigar el estado de los tejidos estudiados, siendo una útil herramienta para la determinación de las variaciones regionales en la perfusión tisular de los pacientes con pie de riesgo⁵⁻⁷. Se trata de una prueba no invasiva, de uso sencillo y fácilmente reproducible. Existen varios estudios publicados acerca de la utilidad de la TcPO₂ en la valoración de la eficacia de los tratamientos con oxigenoterapia hiperbárica⁸⁻¹⁰, en la evolución tras revascularizaciones distales¹¹ y en la valoración de la enfermedad vascular periférica^{11,12}.

Diversos estudios han demostrado también la utilidad de la TcPO₂ para valorar la microcirculación en pacientes diabéticos sin signos clínicos de hipoxia tisular^{13,14}, incluso recomendando su realización en el *screening* en pacientes DM tipo 2 con pie de riesgo sin antecedentes de lesiones previas⁵.

La medición de la hipoxia tisular mediante la TcPO₂ tiene 4 propósitos principales: 1) esclarecer el papel de la isquemia en una lesión de evolución tórpida; 2) determinar la probabilidad de cicatrización; 3) valorar la necesidad de realizar un procedimiento revascularizador; y 4) determinar el nivel de amputación cuando este sea necesario¹⁵.

La presión transcutánea de oxígeno refleja fundamentalmente el estado metabólico de los tejidos estudiados, más que los cambios hemodinámicos, fundamentalmente en la piel. La medición de la tensión transcutánea de oxígeno depende del flujo sanguíneo cutáneo, de la actividad metabólica, de la oxihemoglobina y de la difusión del oxígeno a los tejidos. Para que se produzcan cambios es necesario que la enfermedad sea severa, ya que la capacidad de aporte de oxígeno supera con mucho los requerimientos metabólicos de los tejidos, y es capaz de compensar el defecto. Por tanto, la mayor utilidad de la TcPO₂ es el diagnóstico de la isquemia crítica^{16,17}, y particularmente en pacientes diabéticos, ya que los resultados no se ven afectados por las calcificaciones arteriales¹⁸.

Habitualmente se realiza en condiciones de hiperemia cutánea, para conseguir una vasodilatación local, lo cual se consigue aumentando la temperatura de la piel hasta los 43-44 °C. Se ha comprobado que cuando se trabaja a 37 °C los valores de la presión transcutánea de O₂ disminuyen drásticamente; sin embargo, se conservan los cambios reflejos que desaparecen al aumentar la temperatura¹⁹. Para ello se utiliza un electrodo de platino bañado en una solución electrolítica. Los valores normales de la TcPO₂

son 60 mmHg (40-70)²⁰ y, en sujetos sanos, se mantiene constante a lo largo de la extremidad. Sin embargo, decrece progresivamente en individuos con enfermedad, y de forma más pronunciada cuanto más severa es la misma. Los pacientes con isquemia crítica suelen tener menos de 20 mmHg de presión. Por otro lado, se ha observado que la TcPO₂ disminuye con la edad¹⁸. Para resolver esto se describió la determinación de la presión de oxígeno en la pared torácica, como comparación y para determinar un índice de perfusión regional, que debe ser superior a 0,9²⁰. También se han descrito algunos procedimientos que pueden aumentar la capacidad discriminativa de esta prueba, como el ejercicio, la hiperemia reactiva, la posición declive y la inhalación de oxígeno^{18,21,22}.

Las principales aplicaciones de la medición de la oximetría cutánea en el laboratorio vascular han sido la determinación del nivel de amputación^{23,24} y la predicción del potencial de curación de las heridas²⁵. El tiempo requerido para realizar la exploración ha sido de una media de 25 min por sitio investigado.

Uno de los principales problemas de la presión sistólica maleolar es que frecuentemente en los pacientes diabéticos se encuentra falsamente elevado. Así, en estudios como EURODIALE²⁶ en aproximadamente un 32% el ITB no era comprensible, y en el estudio de Andrews²⁷ de 2013 el 53% no lo eran, objetivando que la sensibilidad del ITB empeoraba conforme el paciente presentaba mayor enfermedad. Silvestro en 2006²⁸ concluyó que en pacientes con isquemia crítica de miembros inferiores la calcificación arterial extrema es por sí sola un factor pronóstico de pérdida de la extremidad.

Stalc²⁹ describió la utilidad de la presión trascutánea de oxígeno para comprobar el éxito tras el tratamiento endovascular. Recientemente se ha descrito también el uso de la TcPO₂ para predecir la evolución tras la recanalización infrainguinal³⁰.

En cuanto a la respuesta de la TcPO₂ tras la revascularización endovascular diversos estudios han objetivado que presenta un ascenso progresivo, hasta incluso un mes después de la misma, delimitando así que el momento óptimo para realizar la amputación (en el caso de ser necesario) sería en el tercer día posrevascularización, siendo el plazo más recomendable una semana tras ella.

De acuerdo con nuestra experiencia, los datos de la literatura demuestran que, en pacientes diabéticos, la sensibilidad de la TcPO₂ es mayor que las mediciones de las presiones, a diferencia de lo que ocurre en los pacientes no diabéticos; por otra parte, la TcPO₂ sola parece ser suficiente para objetivar la estratificación del riesgo de la isquemia arterial. La propuesta de intervalo de entre 30-50 mmHg en el TASC 2000 ha indicado que los valores de TcPO₂ < 30 mmHg pueden predecir que la cicatrización no ocurrirá.

Según un estudio realizado por Ballard et al.³¹, publicado en 1995, cifras de TcPO₂ iguales o superiores a 30 mmHg han demostrado unos valores de sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo y valor predictivo negativo del 98%, 44%, 91% y 80% respectivamente. En cuanto a la predicción en el salvamento de extremidades inferiores en pacientes con síndrome de pie diabético, han sido incluso más exactos que la palpación de pulsos distales y que el índice tobillo brazo (ITB). Incluso se obtuvo que la TcPO₂ resultaba una prueba con mejor valoración coste-efectividad que la

Tabla 4 Datos comparativos de TcPO₂ respecto de las publicaciones previas y nuestros resultados

	TcPO ₂ (mm Hg)	Sn	Sp	AUC (ROC)
Ballard 1995	30	98%	44%	-
Kalani 1999	25	85%	92%	-
Redlich 2011	33	-	-	0,89
Andrews 2013	38	71%	71%	0,76
HUFA 2014	35	90%	89%	0,88

arteriografía (93,88 \$ vs 1052,73 \$ por cada exploración de miembro inferior). Otro estudio realizado por Kalani et al.³² obtuvo unos datos de sensibilidad del 85%, especificidad del 92% y valor predictivo positivo del 79% para valores de TcPO₂ de 25 mm Hg, y determinaron que la medición de la TcPO₂ era un factor predictivo para la cicatrización de las úlceras mejor que el ITB. En 1997 Hanna concluyó que los procesos de revascularización endovascular en pacientes diabéticos eran útiles para salvar la extremidad, y en ellos la medición de la TcPO₂ tenía valor predictivo de cicatrización de las heridas y éxito tras la intervención. Determinaron que valores inferiores a 40 mm Hg era predictor negativo de cicatrización de las lesiones tróficas. En 2010 Faglia et al. evaluaron en un estudio con 261 pacientes la fiabilidad del ITB y de la TcPO₂ para la detección de isquemia arterial crítica en pacientes diabéticos. Determinaron la utilidad diagnóstica de la TcPO₂ en pacientes con presión maleolar superior a 70 que presentaban TcPO₂ inferior a 50 mm Hg y lesiones angiográficas oclusivas. Concluyeron que en pacientes con dolor de reposo o lesiones tróficas era esencial la determinación de la TcPO₂ para el diagnóstico de la isquemia crítica, no solo cuando su ITB no es medible, sino también cuando presentan una presión maleolar \geq 70 mm Hg (tabla 4).

En otro estudio en el año 2006 se confirmaron los valores dados por la TcPO₂ durante un proceso isquémico, mediante la utilización de la resonancia magnética nuclear³³.

Sin embargo, la TcPO₂ es una herramienta que presenta ciertas limitaciones¹⁵:

- Propiedades de la piel: la localización, el grosor de la piel, rebordes óseos o el edema en la zona a examen.
- Los perfiles de temperatura creados en el tejido por el calentamiento pueden ser diferentes de un sitio a otro y de un sujeto a otro.
- La presión mecánica a la que se someta al electrodo y los gases anestésicos.
- La presencia de edema o celulitis.

Actualmente la TcPO₂ es la única técnica diagnóstica capaz de informar acerca de la cantidad de oxígeno que se transmite a la piel y a los tejidos, es decir, aporta datos acerca de la verdadera oxigenación tisular, frente al láser doppler, que nos indica un incremento de volumen sanguíneo a nivel local, pero no nos informa de su utilización por los tejidos, que pueden seguir hipóxicos por la disfunción capilar presente en la microangiopatía.

Conclusión

Nuestros datos confirmaron que la TcPO₂ es una herramienta útil para valorar la cicatrización de las úlceras por isquemia arterial crónica en el paciente diabético, especialmente en los pacientes con ITB no valorable. El valor umbral de buen pronóstico de cicatrización se situaría según nuestros resultados en un valor \geq 35 mm Hg. El incremento de la TcPO₂ por encima de 15 mm Hg, respecto del basal, es un factor de éxito tras la revascularización en los pacientes con diabetes. La TcPO₂ es una herramienta más de diagnóstico vascular no invasivo, complementaria a las presiones segmentarias y al ecodoppler, que puede ser de gran ayuda en la atención de un proceso patológico tan demandante como el pie diabético.

Responsabilidades éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

- Harris MI. Diabetes in America: Epidemiology and scope of the problem. *Diabetes Care*. 1998; Suppl 3:C11-4.
- Wild S, Roglic G, Green A, Sicree R, King H. Global prevalence of diabetes: Estimates for the year 2000 and projections for 2030. *Diabetes Care*. 2004;27:1047-53.
- Encuesta Nacional de Salud 2006 [citado 22 Sept 2008]. Disponible en: <http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=/t15/p419&file=inebase&L=0>
- Oliva J, Lobo F, Molina B, Monereo S. Direct health care costs of diabetic patients in Spain. *Diabetes Care*. 2004;27:2616-21.
- Armstrong DG, Lavery LA, Harkless LB. Validation of a diabetic wound classification system The contribution of depth, infection, and ischemia to risk of amputation. *Diabetes Care*. 1998;21:855-9.

6. Zimny S, Dessel F, Ehren M, Pfohl M, Schatz H. Early detection of microcirculatory impairment in diabetic patients with foot at risk. *Diabetes Care*. 2001;24:1810-4.
7. Uccioli L, Monticone G, Russo F, Mormile F, Durola L, Mennuni G, et al. Autonomic neuropathy and transcutaneous oxymetry in diabetic lower extremities. *Diabetologia*. 1994;37:1051-5.
8. Boyko EJ, Ahroni JH, Stensel VL, Smith DG, Davignon DR, Pecoraro RE. Predictors of transcutaneous oxygen tension in the lower limbs of diabetic subjects. *Diabet Med*. 1996;13:549-54.
9. Fife CE, Buyukcakir C, Otto GH, Sheffield PJ, Warriner RA, Love TL, et al. The predictive value of transcutaneous oxygen tension measurement in diabetic lower extremity ulcers treated with hyperbaric oxygen therapy: A retrospective analysis of 1,144 patients. *Wound Repair Regen*. 2002;10:198-207.
10. Kalani M, Jorneskog G, Naderi N, Lind F, Brismar K. Hyperbaric oxygen (HBO) therapy in treatment of diabetic foot ulcers. Long-term follow-up. *J Diabetes its Complicat*. 2002;16:153-8.
11. Caselli A, Latini V, Lapenna A, di Carlo S, Pirozzi F, Benvenuto A, et al. Transcutaneous oxygen tension monitoring after successful revascularization in diabetic patients with ischaemic foot ulcers. *Diabet Med*. 2005;22:460-500.
12. White RA, Nolan L, Harley D, Long J, Klein S, Tremper K, et al. Noninvasive evaluation of peripheral vascular disease using transcutaneous oxygen tension. *Am J Surg*. 1982;144:13-68.
13. Khodabandehlou T, Vimeux M, Le Devehat C. Measurements of transcutaneous oxygen pressure and changes in blood rheology as markers of prognosis of critically ischemic limb in diabetes mellitus patients. *Int J Low Extrem Wounds*. 2003;2:8-13.
14. Le Devehat C, Khodabandehlou T. Transcutaneous oxygen pressure and hemorheology in diabetes mellitus. *Int Angiol*. 1990;9:259-62.
15. Mathieu D, Mani R. A review of the clinical significance of tissue hypoxia measurements in lower extremity wound management. *Int J Low Extrem Wounds*. 2007;6:273-83.
16. European Working Group on Critical Limb Ischemia Second European Consensus Document on Chronic Critical Leg Ischaemia. *Circulation*. 1991;84 Suppl 4:1-26.
17. TASC. Management of peripheral arterial disease (PAD). Trans-Atlantic Inter-Society Consensus (TASC). *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2000;19 Suppl A:1-258.
18. Cina C, Katsamouris A, Megerman J, Brewster DC, Strayhorn EC, Robison JG, et al. Utility of transcutaneous oxygen tension measurements in peripheral arterial occlusive disease. *J Vasc Surg*. 1984;1:362-71.
19. Fronck A. Clinical experience with transcutaneous PO₂ and PCO₂ measurements. En: Bernstein EF, editor. *Vascular diagnosis*. 4.ª edición St. Louis: Mosby-Year Book; 1993. p. 620.
20. Senin ME, Martinez M. Exploración no invasiva del paciente isquémico. En: Martinez M, editor. *En patología isquémica*. Barcelona: Edika Med; 2003. p. 1-11.
21. Byrne P, Provan JL, Ameli FM, Jones JP. The use of transcutaneous oxygen measurements in the diagnosis of peripheral vascular insufficiency. *Ann Surg*. 1984;200:159-65.
22. Franzeck UK, Talke P, Bernstein EF, Golbranson FL, Fronck A. Transcutaneous PO₂ measurements in health and peripheral arterial occlusive disease. *Surgery*. 1982;91:156-63.
23. Harward TRS, Volny J, Golbranson F, Bernstein EF, Fronck A. Oxygen inhalation-induced transcutaneous PO₂ changes as predictor of amputation level. *J Vasc Surg*. 1985;2:220-7.
24. Kram HB, Apple PL, Shoemaker WC. Multisensor transcutaneous oximetric mapping to predict below-knee amputation wound healing: Use of critical PO₂. *J Vasc Surg*. 1989;9:796-800.
25. Lalka SG, Malone JM, Anderson GG, Hagaman RM, McIntyre KE, Bernhard VM. Transcutaneous oxygen and carbon dioxide pressure monitoring to determine outcome of limb ischemia and to predict surgical outcome. *J Vasc Surg*. 1988;7:507-14.
26. Prompers L, Schaper N, Apelqvist J, Edmonds M, Jude E, Mauricio D, et al. Prediction of outcome in individuals with diabetic foot ulcers: Focus on the differences between individuals with and without peripheral arterial disease. The Eurodiale Study. *Diabetologia*. 2008;51:747-55.
27. Andrews KL, Dib MY, Shives TC, Hoskin TL, Liedl DA, Boon AJ. Noninvasive arterial studies including transcutaneous oxygen pressure measurements with the limbs elevated or dependent to predict healing after partial foot amputation. *Am J Phys Med Rehabil*. 2013;92:385-92.
28. Silvestro A, Diehm N, Savolainen H, Do DD, Vögelea J, Mahler F, et al. Falsely high ankle-brachial index predicts major amputation in critical limb ischemia. *Vasc Med*. 2006;11:69-74.
29. Stalc M, Poredos P. The usefulness of transcutaneous oximetry in assessing the success of percutaneous transluminal angioplasty. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2002;24:528-32.
30. Chupin A, Pokrovsky A, Dan V, Machmudova L. Transcutaneous oximetry can predict the immediate and long term results of infrainguinal critical limb ischemia treatment. Presentado en el Congreso de la Sociedad Europea de Cirugía Vasculat, Dublin, 4-7 de Septiembre de. 2003.
31. Ballard JFCC, Bunt TJ, Killeen D. A prospective evaluation of transcutaneous oxygen measurements in the management of diabetic foot problems. *J Vasc Surg*. 1995;22:485-92.
32. Kalani M, Brismar K, Fagrell B, Ostergren J, Jorneskog G. Transcutaneous oxygen tension and toe blood pressure as predictors for outcome of diabetic foot ulcers. *Diabetes Care*. 1999;22:147-51.
33. Ledermann HP, Heidecker HG, Schulte AC, Thalhammer C, Aschwanden M, Jaeger KA, et al. Calf muscles imaged at BOLD MR: Correlation with TcPO₂ and flowmetry measurements during ischemia and reactive hyperemia-initial experience. *Radiology*. 2006;241:477-84.