



FORMACIÓN MÉDICA

Visualizando más allá de la macrohemodinamia

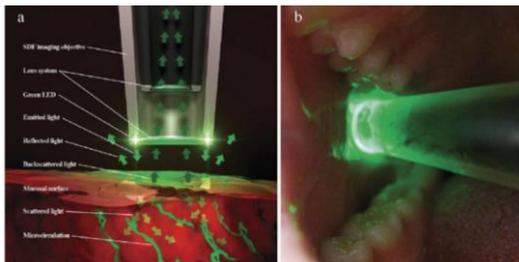
Tovar Doncel MS.

Complejo hospitalario de Toledo. Hospital Virgen de la Salud.

Resumen

La principal función del sistema cardiovascular es el mantenimiento de una atmósfera adecuada para la funcionalidad de los tejidos. Dentro de este sistema, encontramos diferentes escalones a evaluar en nuestros pacientes, siendo la microcirculación, el último escalón del sistema. La microcirculación es el principal medio de suministro de oxígeno a las células del tejido y es esencial para el mantenimiento de la vida y la función celular. La función de los órganos depende directamente de la función de su respectiva microcirculación, y el logro de una buena función microcirculatoria puede considerarse como el principal objetivo del sistema cardiovascular. Por ello, la monitorización de la macrocirculación no es capaz de detectar la disfunción microcirculatoria y limita la terapia dirigida a objetivos macrodinámicos. La microcirculación ha sido evaluada con diferentes métodos, de los cuales nos centraremos en este artículo de los microscopios de mano, que permiten una visualización in vivo, a tiempo real y de forma no invasiva de la microcirculación.

Introducción



La principal función del sistema cardiovascular es el mantenimiento de una atmósfera adecuada para la funcionalidad de los tejidos. Dentro de este sistema, encontramos diferentes escalones a evaluar en nuestros pacientes, siendo la microcirculación, el último escalón del sistema. La microcirculación es el principal medio de suministro de oxígeno a las células del tejido y es esencial para el mantenimiento de la vida y la función celular. La función de los órganos depende directamente de la función de su respectiva microcirculación, y el

logro de una buena función microcirculatoria puede considerarse como el principal objetivo del sistema cardiovascular. Por ello, la monitorización de la macrocirculación no es capaz de detectar la disfunción microcirculatoria y limita la terapia dirigida a objetivos macrodinámicos. La microcirculación ha sido evaluada con diferentes métodos, de los cuales nos centraremos en este artículo de los microscopios de mano, que permiten una visualización in vivo, a tiempo real y de forma no invasiva de la microcirculación.

Resumen

La principal función del sistema cardiovascular es el mantenimiento de una atmósfera adecuada para la funcionalidad de los tejidos. Dentro de este sistema, encontramos diferentes escalones a evaluar en nuestros pacientes, siendo la microcirculación, el último escalón del sistema. La microcirculación es el principal medio

de suministro de oxígeno a las células del tejido y es esencial para el mantenimiento de la vida y la función celular. Su función se basa en la compleja interacción de sus componentes celulares, incluyendo glóbulos rojos y blancos, endoteliales, músculo liso y células parenquimatosas. La función de los órganos depende directamente de la función de su respectiva microcirculación, y el logro de una buena función microcirculatoria puede considerarse como el principal objetivo del sistema cardiovascular y de particular importancia para los pacientes críticos, especialmente los que están en shock.

Muchos estudios, han demostrado que alteraciones persistentes de la microcirculación que no responden a medidas terapéuticas, se correlacionan con peores resultados a largo plazo, sobre todo en pacientes sépticos (1, 2). Se ha demostrado que las intervenciones terapéuticas deben realizarse lo más precoz posible y generalmente terapias tempranas dirigidas por objetivos, ya que se han asociado con un mejor resultado clínico. Sin embargo, a pesar de la optimización de la esfera macrocirculatoria (como, la precarga, el gasto cardíaco, la tensión arterial y la saturación venosa central o mixta de oxígeno), siguen existiendo altas tasas de mortalidad. En este sentido, se ha demostrado que la mejora exclusiva de la macrocirculación, no garantiza la mejoría de la microcirculación. La disfunción de la microcirculación se caracteriza por alteraciones heterogéneas en el flujo de los capilares, que pueden estar o no perfundidos, por lo que genera unidades microcirculatorias hipóxicas. Esta disfunción puede aparecer como el resultado de varios factores: disfunción endotelial, interacciones leucocito-endotelio, trastornos de la coagulación e inflamatorios, alteraciones hemorreológicas o alteración del equilibrio entre la entrega y el consumo

de oxígeno. Por ello, la monitorización de la macrocirculación (tensión arterial, frecuencia cardíaca, gasto cardíaco, diuresis), no es capaz de detectar la disfunción microcirculatoria y limita la terapia dirigida a objetivos macrodinámicos. Como resultado, está justificado la monitorización de la microcirculación en la exploración de nuestros pacientes. La microcirculación ha sido evaluada con métodos directos e indirectos (3), de los que podemos agrupar en:

1. Evaluación clínica: Relleno capilar y la temperatura que se correlacionan con la hipoperfusión periférica.
2. Biomarcadores: marcadores analíticos como el nivel de ácido láctico, la saturación venosa central y mixta de oxígeno; la presión parcial de dióxido de carbono, GAP CO₂. Todos ellos son marcadores indirectos del estado de la microcirculación.
3. Técnicas de imagen: Láser doppler para evaluar la velocidad de los hematíes y la videomicroscopía, de la que nos centraremos en esta entrada.

Videomicroscopía para la Evaluación de la Microcirculación

Al inicio del siglo XX, la observación directa de la microcirculación en humanos estaba limitada al uso de voluminosos microscopios para la evaluación de los capilares del lecho subungueal a pie de cama de los pacientes. Fue en 1971, cuando Sherman et al introdujeron un nuevo método para la visualización de la microcirculación, la microscopía de iluminación de campo oscuro. Este método permitía la observación de la superficie de los órganos usando epi-iluminación, sin necesidad de la transiluminación de los tejidos adyacentes. A finales de 1990, Groner et al desarrollaron una técnica de

microscopía de mano, utilizada en la actualidad.

La aplicación de un microscopio sobre la superficie de los órganos, requiere un tipo especial de iluminación de los tejidos que evite la distorsión de las imágenes por el reflejo sobre la superficie. La primera opción fue la transiluminación de órganos de pequeño espesor, como la videocapilaroscopia de la superficie subungueal de los dedos, pero tenía limitaciones en pacientes críticos que tuvieran vasoconstricción periférica.

De forma alternativa, se han creado dispositivos que emiten luz polarizada para estudiar tejidos que se encuentran más profundos. En la actualidad podemos describir tres técnicas que nos permiten el estudio de la microcirculación a pie de cama del paciente, y son: OPS (Orthogonal polarization spectral), SDF (sidestreamdark- field), e IDF (incident dark-field). Los hematíes son visualizados como puntos negros/grises por la absorción de luz por la hemoglobina a una longitud de onda determinada. En modelos de animales sépticos, se ha evaluado la microcirculación en diferentes órganos como la lengua, el intestino y el cerebro; sin embargo, en la mayoría de los estudios publicados en humanos, se ha estudiado la microcirculación sublingual.

En esta localización encontramos secreciones y movimientos que provocan artefactos de las imágenes evaluadas, por ello la técnica es más fácil de realizar sobre pacientes sedoanalgesiadados o pacientes colaboradores. Los valores que analizamos son la densidad vascular (de todos los vasos y de los capilares) y la heterogeneidad de la perfusión a través de la proporción de vasos perfundidos, el flujo medio y el índice de heterogeneidad.

Técnicas de visualización de la Microcirculación

Hay diversas técnicas no invasivas en tiempo real que han sido desarrolladas para la observación y el estudio de la microcirculación:

1. Capilaroscopia.
2. Videomicroscopía de fluorescencia.
3. Imágenes por ultrasonidos.
4. Espectrometría ortogonal polarizada (OPS-Orthogonal polarization spectroscopy).
5. Iluminación de campo oscuro (SDF-Sidestream dark field, IDF-Incident Dark Field Illumination)

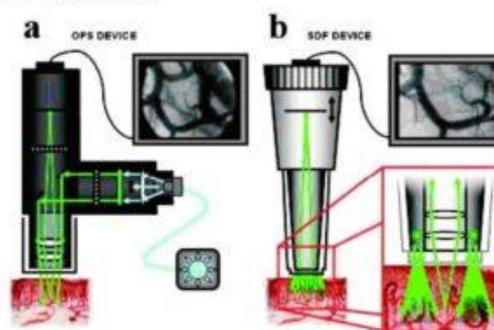
La *capilaroscopia* consiste en un microscopio que combinado con una cámara ilumina los tejidos y permite a tiempo real registrar los videos obtenidos; este tipo de técnica suele emplearse para el área de la piel adyacente a la uña. El sistema de *microscopía de fluorescencia* consiste en un microscopio de fluorescencia, con filtros apropiados, una cámara de vídeo y un sistema de grabación. El sistema de *ultrasonidos* está constituido por un transductor piezo eléctrico que transmite ondas de ultrasonido a una determinada frecuencia. Las ondas van a penetrar en la piel y luego van a ser reflejadas a través de los tejidos, dirigiéndose al transductor que las detecta como ecos. El transductor convierte los ecos en impulsos eléctricos, y el escáner de ultrasonidos, va a transformar los impulsos eléctricos en imágenes. La intensidad del eco determina el brillo de la imagen. Los hematíes en movimiento cambian la frecuencia de los pulsos, por ello los ecos son más débiles y aparecen en las imágenes como puntos negros móviles. La *espectrometría ortogonal polarizada (OPS)* y la *iluminación de campo oscuro (SDF, IDF)*, son dos de las pocas técnicas para la visualización directa y a tiempo real de la microcirculación a pie de cama de los pacientes.

OPS (Orthogonal Polarization Spectral Imaging)

El OPS, es una técnica de microscopio que emplea luz polarizada para la visualización no invasiva e in vivo de la microcirculación superficial. Esta tecnología fue introducida por Slaaf et al e implementada por primera vez como microscopio de mano por Cytometrics, Inc. con el fin de obtener el hematocrito de los pacientes sin necesidad de tomar una muestra de sangre. Este tipo de microscopio va a emitir una luz desde una fuente externa que pasa a través de un filtro óptico hacia una región específica del espectro de luz visible, para luego polarizarse linealmente. A través de un divisor de haz, el haz de polarización se dirige hacia el tejido objetivo. La mayor parte de los fotones emitidos se reflejan en la superficie de la piel, manteniendo la polarización original, mientras que aproximadamente el 10% de la luz total penetra en el tejido y experimenta múltiples fenómenos de dispersión que causan la aleatorización de los planos de polarización originales. La luz remitida desde el área iluminada es recogida por el microscopio para ser proyectada sobre una cámara analógica. Gracias al analizador, sólo los fotones sometidos a un cambio de polarización dentro del tejido pueden alcanzar la cámara analógica. Se debe elegir un filtro óptico para seleccionarla región del espectro correspondiente al área de máxima absorción de la hemoglobina, para que la microcirculación adyacente pueda ser proyectada. Para optimizar el contraste de la imagen resultante, el aparato OPS incluye un filtro óptico centrado en la longitud de onda entre los puntos de oxigenación y desoxigenación de la hemoglobina (548nm), que es el punto de longitud de onda específico al cual hay la misma absorbancia. En resumen, los principios subyacentes de la técnica OPS conduce a la generación de vídeos de la

microcirculación en los cuales aparecen vasos perfundidos con hematíes en su interior cargados de hemoglobina, que aparecen como puntos negros o grises sobre un fondo claro (Imagen 1). La generación de vídeos con buena calidad, requiere la iluminación y absorción adecuada que permita que haya suficiente contraste entre la sangre de los vasos y el fondo de la imagen. La técnica OPS, refleja la primera generación de microscopios de mano para la evaluación no invasiva de la microcirculación a pie de cama del paciente en la investigación clínica.

Imagen 1: Dispositivo OPS

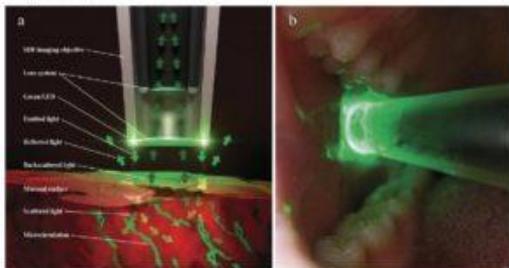


SDF (Sidestream Dark Field Imaging)

El SDF-imaging representa la segunda generación de microscopios de mano para la evaluación no invasiva de la microcirculación. En 1971, Sherman desarrolló la técnica basada en la iluminación de campo oscuro incidente (Incident Dark Field Illumination), en la que una luz atraviesa unas lentes prismáticas rodeando el objetivo. Sobre esta técnica, Goedhart et al desarrollaron el sistema SDF, que fue comercializado bajo el nombre de Microscan (MicroVision Medical, Amsterdam, The Netherlands). En el microscopio SDF, la iluminación de campo oscuro procedía de un anillo de luces LEDs en la punta del microscopio que iluminaba los tejidos, y la luz reflejada se capturaba por el centro del anillo para procesarse y originar la imagen. El anillo de luces LEDs emite luz en la región verde del

espectro de luz visible, usando un amplio margen de longitud de ondas centrado entre 530 nm (coincide con el punto de oxigenación y desoxigenación de la hemoglobina), para adquirir un adecuado contraste entre los vasos perfundidos y el área adyacente. El importante avance con esta nueva técnica procede del efecto estroboscópico, ya que ilumina mediante destellos los tejidos que se mueven de forma rápida y periódica; el anillo de luces realiza pulsos de epiluminación al aérea a estudio cada 16 milisegundos. Esto contribuye a mejorar la definición de los hematíes que fluyen dentro de los capilares, disminuyendo los artefactos. Además, la profundidad de iluminación es mayor que la técnica OPS. A pesar de las ventajas adquiridas sobre el OPS, presenta algunas limitaciones como: el ajuste de la profundidad de estudio sigue siendo manual, el peso del dispositivo que es de 350 gramos aproximadamente, con lo que dificulta la estabilización de las imágenes y la adquisición de los vídeos sin efectos de presión (Imagen 2).

Imagen 2: Dispositivo SDF- Microscan

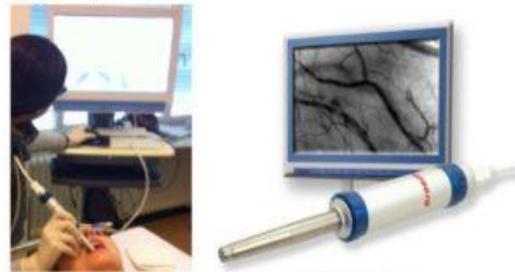


Cytocam IDF Imaging

Constituye la tercera generación de microscopios de mano, desarrollado por Braedius Medical (Huizen, The Netherlands). Este dispositivo, emplea la técnica del SDF, pero con un anillo de 12 luces pulsadas LEDs, que ilumina sobre un campo de visión en la región verde del espectro visible. La amplitud de los pulsos, es de 2 milisegundos, a diferencia de los 16 milisegundos del Microscan, por lo que se produce una

mejor definición del contorno de los vasos y permite distinguir las células de forma individualizada a su paso a través de los capilares. Otra de las ventajas de este dispositivo es que está hecho de titanio y aluminio, disminuyendo el peso a 115 gramos, por lo que disminuye los artefactos de presión en la adquisición de los vídeos. Además, permite la monitorización de la profundidad de estudio mediante un software integrado. La principal ventaja de este dispositivo, es la calidad de la imagen. Permite la visualización de más del 30% de capilares que eran visibles con los microscopios de anteriores generaciones (4) (Imagen 3).

Imagen 3: Dispositivo Cytocam



Conclusiones

Durante las últimas décadas se han diseñado diferentes dispositivos para la visualización directa de la microcirculación, siendo el Cytocam-IDF el dispositivo de tercera generación que se está empleando en los estudios de microcirculación de la actualidad. Se debería realizar una evaluación de la microcirculación de nuestros pacientes realizando una terapia guiada no sólo por objetivos hemodinámicos sino también por objetivos microcirculatorios, ya que se ha objetivado que a pesar de una adecuada resucitación de los pacientes, sobre todo pacientes con sepsis, la tasa de mortalidad permanece siendo elevada.

Bibliografía

1. De Backer D, Donadello K, Sakr Y, Ospina-Tascon G, Salgado D, Scolletta S (2013). Microcirculatory alterations in patients with severe sepsis: impact of time of assessment and relationship with outcome. Crit Care Med 41(3):791–799. ([PubMed](#))
2. Ince C (2005) The microcirculation is the motor of sepsis. Crit Care 9(Suppl 4):S13–S19. ([ePub](#)) ([PDF](#))
3. D. De Backer, A. Durand. Monitoring the microcirculation in critically ill patients. Best Pract Res Clin Anaesthesiol. 2014 Dec;28(4):441-51. ([PubMed](#))
4. Aykut G, Veenstra G, Scorcella C, Ince C, Boerma C. Cytocam-IDF (incident darkfield

illumination) imaging for bedside monitoring of the microcirculation. IntensiveCare Medicine Experimental (2015) 3:4. ([ePub](#)) ([PDF](#))

Correspondencia al autor

María Sherezade Tovar Doncel
msherezadetovardoncel@gmail.com
FEA en Anestesiología, Reanimación y Terapéutica del Dolor.
Complejo hospitalario de Toledo. Hospital Virgen de la Salud.

Publicado en AnestesiaR el 7 de agosto de 2017

