

Evaluación de las propiedades biomecánicas de la piel en un paciente quemado con un método no invasivo y cuantitativo

Evaluation of the biomechanical properties of the skin in a burned patient with a non-invasive and quantitative method

Gerardo Leyva-Gómez,* Noé Zacáula-Juárez,*[‡] Michelin Álvarez-Camacho,[§] Karina Tolentino-Bazán,^{||} Mariana Morales-García^{||}

* Laboratorio de Tejido Conjuntivo, Centro Nacional de Investigación y Atención de Quemados.

‡ Escuela Superior de Medicina, Instituto Politécnico Nacional.

§ Laboratorio de Ingeniería de Rehabilitación.

|| Rehabilitación de Quemados, Centro Nacional de Investigación y Atención de Quemados.

Instituto Nacional de Rehabilitación «Luis Guillermo Ibarra Ibarra».

Dirección para correspondencia:
 Dr. en C. Gerardo Leyva Gómez
 Investigador en Ciencias Médicas del Laboratorio de Tejido Conjuntivo del Instituto Nacional de Rehabilitación.
 Av. México-Xochimilco Núm. 239,
 Col. Arenal de Guadalupe, 14389,
 Ciudad de México.
 Tel. 59991000, ext. 14706
 E-mail: gerardoleyva@hotmail.com

Recibido: 27 de enero de 2017.
 Aceptado: 22 de marzo de 2017.

Este artículo puede ser consultado en versión completa en:
<http://www.medigraphic.com/rid>

Palabras clave:

Cutómetro, biomecánica, piel, quemaduras.

Key words:

Cutometer, biomechanics, skin, burns.

Resumen

Las lesiones por quemaduras representan un problema de atención pública importante desde su atención primaria hasta la inclusión del paciente en la vida social y laboral. La capacidad funcional de la piel en pacientes con secuelas por quemaduras es una incógnita hasta el momento debido a que no hay estudios bien establecidos con métodos adecuados. En esta investigación se estandarizaron las principales fuentes de variación en una persona sin lesión y después en un paciente con cicatrices por quemaduras. Posteriormente se determinaron diversos parámetros biomecánicos del paciente mediante la sonda cutómetro con apertura de 2 mm y una presión negativa de 450 mbar con 2 segundos de succión y 2 segundos de relajación, en series de 10 ciclos de succión/relajación, cada serie por triplicado. Adicionalmente se registraron valores de humectación del estrato córneo mediante resistencia eléctrica y la presencia de melanina y hemoglobina por métodos ópticos a diferentes longitudes de onda. En el paciente analizado se determinó una recuperación biomecánica de 60% después de 11 semanas y media de haber ocurrido la lesión. Asimismo, el área injertada en la zona de lesión mostró menor humectación, menor melanina y mayor eritema. El método de succión/relajación por presión negativa es un análisis rápido, de fácil implementación y no produce ninguna molestia en el paciente. Los diversos parámetros relativos que se derivan de dicho fenómeno son de utilidad para relacionar comportamientos particulares de la piel como la elasticidad y viscoelasticidad y por tanto para dirigir los tratamientos adecuados para el paciente.

Abstract

Burn injuries represent a problem of important public attention from primary care to the patient's inclusion in social and work life. The functional capacity of the skin in patients with burn sequelae is unknown until now because there are no well established studies with adequate methods. In this investigation, the main sources of variation were standardized in a person without injury and later in a patient with burn scars. Subsequently, different biomechanical parameters of the patient were determined by means of the 2 mm aperture cutometer probe and a negative pressure of 450 mbar with 2 seconds of suction and 2 seconds of relaxation in a series of 10 suction / relaxation cycles, each series by triplicate. In addition, moisture values of the stratum corneum were recorded by electrical resistance, and the presence of melanin and hemoglobin by optical methods at different wavelengths. In the analyzed patient, a biomechanical recovery of 60% was determined after 11 weeks of injury. In addition, the grafted area showed less moisture, less melanin and greater erythema. The suction/relaxation method by negative pressure is quick, with easy implementation and does not cause any discomfort in the patient. The relative parameters obtained are useful to relate particular skin behaviors such as elasticity and viscoelasticity, and therefore to seek suitable treatments for the patient.

Introducción

Una quemadura es una lesión producida en la piel u otros tejidos por agentes físicos (fuego, frío, líquidos calientes, objetos calientes, radiaciones, corriente eléctrica y fricción) y químicos (ácidos, bases) en distintos grados de afectación, desde la aparición de un eritema hasta la destrucción de las capas dérmicas, subdérmicas e hipodérmicas en el caso de la piel.¹ Las quemaduras se clasifican también de acuerdo con su extensión y profundidad de la quemadura, y pueden llegar a ser intencionales o no intencionales, por lo que existen factores sociales que promueven su incidencia como la baja condición socioeconómica, ausencia de cultura preventiva y normatividades adecuadas.² La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha estimado un número de 265,000 decesos cada año, con una tasa de mortalidad siete veces menor en países de altos ingresos. Las quemaduras son un problema de salud pública poco estudiado en México, más de 18% aproximadamente de los lesionados que han sido hospitalizados no sobrevive a diferencia de 5.4% reportado en otros países con mayor desarrollo.³ En México se tiene el registro de la defunción de 9,073 personas en el periodo de 2000 a 2013, de los cuales 69.9% fueron hombres. La población infantil, adolescente y adulta mayor son los grupos que muestran mayor vulnerabilidad. En la población infantil el hogar es el lugar donde ocurren la mayor parte de las quemaduras, mientras que en los adolescentes es la vía pública y áreas industriales. En 2013 en nuestro país las defunciones estuvieron relacionadas en 70% con la exposición a humo o fuego directo. Con respecto a quemaduras no fatales se tiene el registro de 124,132 personas en 2012, por lo que en ese año por cada fallecimiento hubo 219 lesiones por quemaduras no fatales. La estancia intrahospitalaria por quemaduras fue de 50,424 días en 2013, con un promedio de 8.7 días, para pacientes pediátricos y adolescentes y de 11.4 días para personas adultas mayores.¹ El desarrollo y gravedad de las complicaciones están en proporción directa a la magnitud de la quemadura y su manejo adecuado, mientras que el tratamiento de las secuelas deberá estar en relación con un aspecto funcional y estético. Las zonas más afectadas por secuelas son el cuero cabelludo, cara, cuello y las zonas de las articulaciones.

Generalmente, la alteración de la integridad anatómica produce un cambio en su funcionalidad en menor o mayor grado y en la percepción estética generando secuelas psicológicas. Lo anterior se refleja en el registro del parámetro «años de vida ajustados

por discapacidad (AVAD)», integrado por los «años de vida perdidos por mortalidad prematura» más los «años vividos con discapacidad», cada AVAD equivale a un año de vida saludable perdido. En 2012 se registró un equivalente de cerca de 18 millones de AVAD a nivel mundial por quemaduras.¹ Por lo tanto es indispensable la evaluación de la lesión, en la actualidad es posible encontrar en la literatura diversos métodos para evaluar los distintos tipos de cicatrices y su evolución como parte del seguimiento de estas secuelas. Se han utilizado métodos subjetivos en su mayoría por su fácil implementación, bajo costo y portabilidad.^{4,5} La mayor parte de estas escalas dependientes del observador consideran factores como la altura o grosor de la cicatriz, flexibilidad, relieve, textura, pigmentación y vascularidad. En la literatura la escala de evaluación que tiene mayor aplicación es la de POSAS (*Patient and Observer Scar Assessment Scale*) con 37.5% seguida de la escala de VSS (*Vancouver Scar Scale*) con 34.4%, cabe señalar que su utilidad está en función de la etiología y tipo de cicatriz.⁶ Las escalas subjetivas han mostrado una adecuada utilidad para registrar valores intraindividuales más que interindividuales, principalmente en cicatrices de baja área superficial, además de que la confianza de los resultados incrementa conforme aumenta el número de observadores.^{7,8} Por este motivo, es necesaria la implementación de métodos objetivos que midan las cicatrices de manera no invasiva, precisa, reproducible y fácil de manipular.

Propiedades mecánicas de la piel

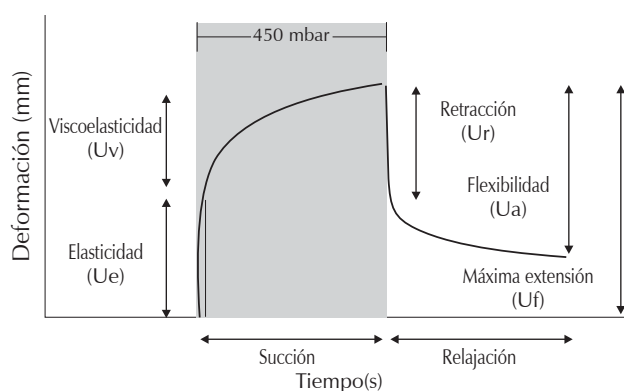
Hasta el momento no hay un consenso sobre las herramientas no invasivas para la medición de las diferentes características en cicatrices cutáneas. Algunos métodos empleados para analizar la anatomía de la cicatrización se describen en el *cuadro 1*.⁹⁻¹¹ Su uso puede especificarse según el tipo de contacto sobre la zona de lesión y el motivo de análisis, por ejemplo al comienzo de la etapa de inflamación (primeras horas después de la lesión) puede recurrirse a la herramienta de velocimetría de láser Doppler para determinar el grado de perfusión. Otras técnicas de imagenología pueden utilizarse durante todo el transcurso de la cicatrización (desde las primeras horas hasta un año después). Las técnicas que requieren mayor presión sobre la superficie de la lesión por lo regular se emplean gradualmente de acuerdo con el tipo de molestia que pudieran ocasionar, por ejemplo la sonda TEWL (*Transepidermal Water Loss*) para el registro de la transmisión de vapor de agua a través

de la piel puede usarse, a partir del segundo día aproximadamente, la sonda de humectación o corneómetro para la determinación de la cantidad de agua sobre el estrato córneo a partir de la primera semana y la sonda cutómetro para el registro de la elasticidad se recomienda después del primer mes, aunque puede utilizarse poco antes con los debidos cuidados.¹⁰ Estas últimas tres sondas son accesorios de la unidad de medición denominada también cutómetro MPA 580.

De los instrumentos no invasivos, el cutómetro MPA 580 es un dispositivo comercial ampliamente reconocido en la literatura para la medición de las propiedades biomecánicas de la piel. El sistema de medición de la sonda cutómetro consiste en una fuente de luz que incide un láser sobre un sistema de prismas que se encuentran uno frente al otro para finalmente dirigir la luz hacia un detector. La piel succionada interferirá el patrón de dispersión entre los prismas convirtiendo los cambios de la intensidad de luz en milímetros de succión. El resultado obtenido usualmente se expresa mediante un gráfico de extensión (mm)/tiempo (segundos) (Figura 1). La capacidad de succión de la piel (presión de aire negativa), su velocidad de incremento o disminución, duración de la succión y relajación y el número de ciclos de registro durante una medición son algunos de los parámetros más importantes que pueden controlarse a través del Software del equipo. La sonda de medición de elasticidad es un accesorio manipulable y en su interior contiene el sistema de medición óptico antes descrito. Esta sonda tiene un diámetro de apertura opcional de 2, 4, 6 u 8 mm de acuerdo con el tipo de análisis requerido.¹²

Para analizar el comportamiento biomecánico, la piel puede examinarse como una materia blanda constituida por la epidermis cuya naturaleza es esencialmente elástica y la dermis cuya naturaleza es de tipo predominantemente viscoelástico. La presencia de elastina y colágena le confieren un comportamiento elástico, mientras que los proteoglicanos una naturaleza viscosa, es decir es un material con ambas propiedades y por tanto se denomina viscoelástico. Adicionalmente, la piel tiene un comportamiento biomecánico que depende de su orientación de análisis (anisotropía) en función del tiempo total de análisis, región anatómica, entre otras variables antropomórficas.¹³

En la fase inicial de deformación de la piel ante un estímulo mecánico como la extensión producida por el cutómetro hay un reclutamiento y rotación de fibras de colágena y elastina para alinearse en la dirección de la elongación mostrando un comportamiento elástico (parámetro Ue en la figura 1). Posteriormente, conforme aumenta la tensión de la piel ocurre una disipación



Parámetros relativos	Parámetros absolutos	Unidades	Descripción
R0	= Uf	mm	Máxima deformación de la piel (extensibilidad)
R1	= Uf-Ua	mm	Capacidad de la piel para recuperar su estado original a un tiempo definido t
R2	= Ua/Uf	%	Proporción de la retracción final a un tiempo t con respecto a la deformación máxima (elasticidad total)
R5	= Ur/Ue	%	Proporción de la región elástica perteneciente a la fase de relajación con respecto a la región elástica de la fase de succión (elasticidad neta)
R6	= Uv/Ue	%	Proporción de la región viscoelástica con respecto a la elástica
R7	= Ur/Uf	%	Proporción de la recuperación elástica con respecto a la deformación máxima
R8	= Ua	mm	Retracción final a un tiempo t

Figura 1. Gráfico representativo de una curva de deformación de la piel con el equipo cutómetro MPA 580 que muestra la asignación de los distintos parámetros absolutos «U» que se emplean para la obtención de los parámetros relativos «R». En la tabla de la parte inferior se describe cada uno de los parámetros de mayor relevancia en la literatura con respecto al comportamiento.

de energía elástica conservada en la estructura fibrosa hacia un componente viscoso, en este caso el contenido de agua en el tejido enlazado a los proteoglicanos tiene un comportamiento que se indica en la *figura 1* como viscoelástico (denominado parámetro U_v). Después, cuando se alcanza la deformación máxima (U_f) a una presión negativa de 450 mbar, se detiene la succión y se aprecia una relajación de la piel, de manera inmediata se observa una retracción elástica de las fibras de elastina y colágena (U_r) seguida de una retracción viscosa, dichos fenómenos no son completamente excluyentes, más bien en cada fase predomina uno de ellos sin estar ausente el otro componente.¹⁴ El Software del cutómetro MPA 580 emplea los valores de «U» para asociar otras relaciones mecánicas que se describen en el *cuadro I* denominados «R», por lo que en la literatura es habitual encontrar el reporte de los valores «R», según el análisis puede hacerse mención sólo de algunos de ellos (*Figura 1*).¹²

El uso del cutómetro MPA 580 en la clínica se relaciona con el análisis de distintas patologías de la piel como acné, esclerodermias, erisipelas, fascitis eosinofílica, *Psoriasis vulgaris*, linfedemas, eczema, diabetes mellitus, acromegalia, síndromes gravitacionales, neurofibromatosis, lesiones en la médula espinal, fotoenvejecimiento, envejecimiento cronológico, dermatitis por riesgos ocupacionales y quemaduras,^{12,15,16} además de ser una herramienta en el análisis de la eficacia de nuevos productos tanto dermatológicos como para la cicatrización de heridas y

en el seguimiento de la eficiencia de tratamientos médicos. En el área de quemaduras se ha utilizado para evaluar el grado de recuperación funcional en distintos tipos de quemaduras en humanos y modelos animales, eficacia de apósitos, eficiencia de tratamientos médicos en rehabilitación como terapia láser, ultrasonido y uso de prendas de compresión. De esta manera, el registro de los distintos parámetros con el dispositivo cutómetro podría permitir una nueva valoración de las intervenciones en pacientes quemados hacia una mejor terapéutica.

Presentación del caso

Este reporte estuvo comprendido en el proyecto registrado en el Instituto Nacional de Rehabilitación bajo el título de «Estudio biomecánico no invasivo para el manejo de la calidad de recuperación de heridas en piel por quemaduras», 26/15, con carta de consentimiento aprobada por el paciente y siguiendo los principios éticos de la Declaración de Helsinki de 1975, revisada en el año 2008. Paciente masculino de 54 años de edad, peso 72 kg, talla 160 cm, quemadura eléctrica en el antebrazo derecho con un área menor de 10%. Se le colocó un injerto proveniente de la cara anterior del muslo derecho (*Figura 2*). Recibió tratamiento con apósitos y desarrolló cuadro de infección durante su estancia. Refirió limitación grave para levantar objetos y trabajo remunerado. Continúa en manejo multidisciplinario para disminuir la discapacidad por secuelas. Al tiempo del análisis biomecánico transcurrieron 11 semanas y media desde la lesión.

En el gráfico de succión-deformación (*Figura 3*) obtenido por la medición del cutómetro se observa una disminución general en todos los valores de «U» y por tanto un cambio de los parámetros «R». Este resultado es consistente con lo reportado en la literatura en diversos sujetos de estudio con quemaduras. El grado de disminución de dichos valores depende del grado de la lesión, tratamiento terapéutico y tiempo de evolución de la cicatriz.

Discusión

La evaluación realizada en el paciente corresponde a un estadio posterior a la epitelización y cierre de la herida, de manera particular en la maduración y remodelación de la matriz extracelular que podría relacionarse con una restauración notable a diferencia de los primeros días posteriores a la lesión de colágena tipo I (proteína madura), orientación de las fibras de esta proteína y su entrecruzamiento, disminución de colágena tipo III (pro-

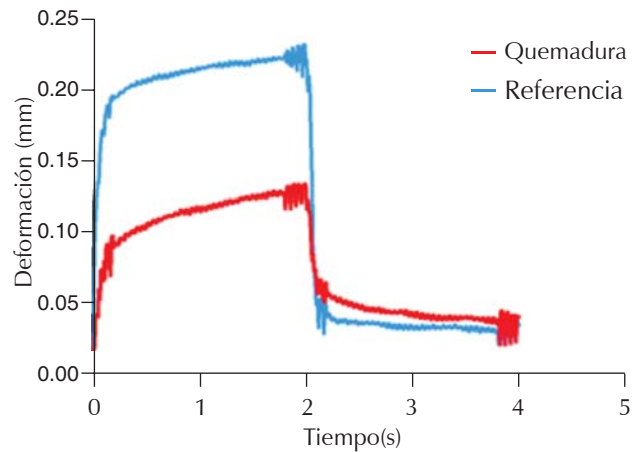
Cuadro I. Diferentes métodos de análisis de la piel de manera no invasiva que pueden utilizarse durante la cicatrización.

Análisis	Parámetro	Instrumento
Mecánico	Elasticidad	Sonda cutómetro
	Plegabilidad	Tonometría
Fisiológico	Flujo sanguíneo	Láser Doppler
	Barrera de la piel	TEWL, corneómetro
	Glándulas sebáceas	Sebómetro
Anatómico	Grosor de la piel	Ultrasonografía
	Pigmentación	Espectroscopia
	Textura	Imagenología en 3D
	Morfología	Microscopia



Figura 2. Fotografía anatómica de la lesión en el paciente (A) y una zona de referencia (B). Acercamiento de la superficie de la piel, comparación de la zona de la lesión (C) y una zona anatómica de referencia (D).

teína inmadura), de la síntesis de glicosaminoglicanos y del tejido de granulación; aumento en la vascularización y en la fuerza de tensión que en el mejor de los casos será de cerca de 80% en comparación con la misma región anatómica sin lesión. Por la comparación del valor de «R0» o deformación máxima se observa que el paciente ha alcanzado en la semana 11.5 una recupera-



Biomecánica		
Parámetros relativos	Referencia	Lesión
R0	0.224	0.136
R1	0.037	0.043
R2	0.834	0.684
R5	0.971	0.977
R6	0.273	1.000
R7	0.768	0.485
R8	0.187	0.093
Humectación		
	38.02	25.19
Melanina		
	250.17	190.08
Eritema		
	367.42	483.92

Figura 3. Gráfico comparativo de la deformación de la piel de una lesión por quemadura con respecto a una zona anatómica de referencia. En la tabla de la parte inferior se describen los valores de los parámetros relativos «R», humectación y pigmentación para determinar la recuperación funcional de la piel del paciente.

ción de 60%, también puede distinguirse una variación en la región comprendida por el parámetro «Uv», que es característica de una cicatriz inmadura en los casos reportados de lesiones por quemaduras.^{15,16} Lo anterior se atribuye posiblemente al grado de conformación de

la arquitectura de los principales componentes de la dermis, responsable en mayor proporción del comportamiento viscoelástico. Es notable también el grado de agotamiento mecánico de la cicatriz cuando se somete a 10 ciclos continuos de succión-deformación en comparación con la misma región sin lesión (gráfico no mostrado), este agotamiento mecánico se caracteriza por una disminución en el valor de deformación máxima (Uf) y es muy semejante por ejemplo, al observado en la comparación de la piel de una persona joven con respecto a la piel de una de la tercera edad. Por otra parte, la zona del injerto muestra menor humectación, menor melanina y mayor eritema (estos dos últimos registrados con el accesorio mexameter acoplado al cutómetro MPA 580). Estos valores usualmente se invierten con el tiempo de acuerdo con los cuidados de la lesión. Cabe mencionar que esta información se relaciona con la evaluación mediante POSAS modificado, en el que la mayor afectación según el observador es la vascularidad (7/10) y la flexibilidad (7/10), mientras que la evaluación del paciente calificó con 9/10 todos los rubros (coloración, rigidez, grosor e irregularidad de la superficie). El equipo cutómetro MPA 580 incluye accesorios adicionales que permiten una evaluación completa de la funcionalidad de la piel, como la pérdida de agua transepidermal, humectación del estrato córneo, producción de sebo, cantidad de melanina y eritema, pH, entre otros. Es indispensable el análisis de los parámetros funcionales de la piel de forma no invasiva, cuantitativa y reproducible en diversas patologías o lesiones para una adecuada atención médica que repercutirá en la calidad de vida del paciente. Cabe señalar también que aún se desconoce el registro de manera cuantitativa de otras diversas variables en el comportamiento de la piel en nuestra población mexicana, por lo que este avance nos ayudaría a disponer de una base de datos para la comparación de múltiples investigaciones concernientes a la piel. Entre las variables de estudio se incluyen los parámetros de elasticidad, humectación, pigmentación y producción de sebo en grupos de comparación de edad, región anatómica, sexo, exposición a radiación UV, patologías dérmicas, lesiones, eficacia de nuevos productos o eficiencia de tratamientos médicos.

Agradecimientos. Gerardo Leyva-Gómez agradece la opinión profesional del Dr. Edgar Krötzsch en la revisión técnica del documento, así como el financiamiento otorgado por el programa FOSISS SALUD-2015-01-261317.

Bibliografía

1. Modelo para la Prevención de Quemaduras en Grupos Vulnerables en México. Primera edición. México. Secretaría de Salud. 2016.
2. Moctezuma-Paz LE, Páez-Franco I, Jiménez-González S, Miguel-Jaimes KD, Foncerrada-Ortega G y cols. Epidemiología de las quemaduras en México. *Rev Esp Méd Quir.* 2015; 20: 78-82.
3. Orozco-Valerio MJ, Miranda-Altamirano RA, Méndez Magaña AC, Celis A. Tendencia de mortalidad por quemaduras en México, 1979-2009. *Gaceta Médica de México.* 2012; 148: 349-357.
4. Tyack Z, Wasiak J, Spinks A, Kimble R, Simons M. A guide to choosing a burn scar rating scale for clinical or research use. *Burns.* 2013; 39 (7): 1341-1350.
5. Nguyen TA, Feldstein SI, Shumaker PR, Krakowski AC. A review of scar assessment scales. *Semin Cutan Med Surg.* 2015; 34: 28-36.
6. Bae SH, Bae YC. Analysis of frequency of use of different scar assessment scales based on the scar condition and treatment method. *Arch Plast Surg.* 2014; 41: 111-115.
7. Fearmonti R, Bond J, Erdmann D, Levinson H. A review of scar scales and scar measuring devices. *Eplasty.* 2010; 10: e43.
8. Tyack Z, Simons M, Spinks A, Wasiak J. A systematic review of the quality of burn scar rating scales for clinical and research use. *Burns.* 2012; 38: 6-18.
9. Lee KC, Dretzke J, Grover L, Logan A, Moiemmen N. A systematic review of objective burn scar measurements. *Burns Trauma.* 2016; 4: 14.
10. Ud-Din S, Bayat A. Non-invasive objective devices for monitoring the inflammatory, proliferative and remodelling phases of cutaneous wound healing and skin scarring. *Exp Dermatol.* 2016; 25: 579-585.
11. Perry DM, McGrouther DA, Bayat A. Current tools for noninvasive objective assessment of skin scars. *Plast Reconstr Surg.* 2010; 126: 912-923.
12. Dobrev H. Cutometer®. In: Berardesca E, Maibach H, Wilhelm KP. Non invasive diagnostic techniques in clinical dermatology. Berlin: Springer; 2014. pp. 315-338.
13. Holt B, Tripathi A, Morgan J. Viscoelastic response of human skin to low magnitude physiologically relevant shear. *J Biomech.* 2008; 41: 2689-2695.
14. Corr DT, Hart DA. Biomechanics of scar tissue and uninjured skin. *Adv Wound Care.* 2013; 2: 37-43.
15. Nedelec B, Correa JA, de Oliveira A, LaSalle L, Perrault I. Longitudinal burn scar quantification. *Burns.* 2014; 40: 1504-1512.
16. Nedelec B, Correa JA, Rachelska G, Armour A, LaSalle L. Quantitative measurement of hypertrophic scar: interrater reliability and concurrent validity. *J Burn Care Res.* 2008; 29: 501-511.