

# Uso de solución electrolizada en pacientes con quemaduras.

PALABRAS CLAVE: Solución electrolizada > cicatrización > quemaduras > infección > regeneración tisular

Dr. en C. Camilo Romero Núñez  
Dermavet Hospital Veterinario

## Introducción

Una herida por quemadura es un tipo de lesión en la piel, causada por daño tisular después de la exposición al calor, fuego, llamas o escaldaduras, productos químicos, electricidad o radiación (Bunman *et al.*, 2017). Las quemaduras térmicas en perros y gatos son lesiones relativamente comunes (Quist *et al.*, 2011). El primer lugar en las estadísticas lo ocupan las quemaduras con llama abierta (alrededor del 84%), seguidas de las quemaduras con sustancias líquidas (7%) y las quemaduras provocadas por la influencia de otros factores (2%) (Shnyakina *et al.*, 2021). Las quemaduras generalmente se clasifican por la profundidad de los tejidos dañados y el área de superficie corporal involucrada, que depende de la temperatura y del tiempo de exposición prolongado. Los objetivos del cuidado de heridas son controlar el crecimiento de microorganismos, reducir el potencial de infección invasiva de la herida, evitar que la herida se convierta en una fuente de sepsis, prevenir la progresión de la herida, preparar el área para el cierre y optimizar la función de curación de la piel (Horari, 2004). El pH tiene una gran influencia en la cicatrización de heridas, por su efecto en el control de infecciones, aumentando la actividad antimicrobiana, alterando la actividad de proteasas como las metaloproteinasas de matriz (MMPs) y el inhibidor tisular de MMPS

(TIMPs), liberando oxígeno, reduciendo la toxicidad de los productos finales bacterianos, mejorando la epitelización y angiogénesis (Fadriquela *et al.*, 2020). En general, hay tres factores que contribuyen a que las heridas no sanen a tiempo: perfusión comprometida (que resulta en niveles de oxígeno tisular disminuidos), patógenos y deterioro inmunológico del hospedador. Se ha descubierto que la adición de soluciones electrolizadas al régimen de cuidado de heridas aborda con éxito los dos primeros factores (Bongiovanni, 2006). La solución electrolizada se ha utilizado para desinfectar heridas por quemaduras y para prevenir la sepsis por *Pseudomonas*, estas soluciones son estables, de pH neutro, bactericida, fungicida, viricida y esporicida, también han demostrado no ser irritante, ni sensibilizante (Altamirano, 2006).

## Antecedentes

En un experimento realizado por Nakae e Inaba, (2000a), el objetivo del estudio fue comprender la eficacia de las soluciones electrolizadas, para acelerar la epitelización en un modelo de herida por quemadura de rata, concluyeron que la epitelización de las heridas ocurrió significativamente temprano en las ratas tratadas con soluciones electrolizadas considerando que la irrigación con estas soluciones puede promover el crecimiento de tejido en las heridas por quemaduras.

En 2003 Xin y col, publicaron un experimento con el objetivo de estudiar la eficacia de soluciones electrolizadas y apósitos hidrocoloides en la aceleración de la epitelización en heridas por quemaduras en ratas, concluyeron que la cicatrización de heridas se puede acelerar aplicando un apósito hidrocoloide en las superficies quemadas después de limpiarlas con soluciones electrolizadas.

Se ha probado la eficacia de las soluciones electrolizadas usadas por irrigación en infección por quemadura, en un experimento se sometieron ratas Sprague-Dawley anestesiadas (n = 31) a quemaduras de tercer grado en el 30% de la superficie corporal total, dos días después de la lesión, todas las ratas fueron infectadas con *P. aeruginosa* utilizando 1 ml de una suspensión que contenía  $1 \times 10^8$  unidades formadoras de colonias. Las ratas fueron asignadas a uno de tres grupos: sin irrigación (grupo I), irrigación con solución salina fisiológica (grupo II) o irrigación solución electrolizada (grupo III). Se determinaron los hemocultivos, los niveles de endotoxinas y las tasas de

supervivencia. Como resultado obtuvieron que la tasa de supervivencia fue significativamente mayor en el grupo III que en los grupos I o II ( $p < 0,0001$ ). Los niveles séricos de endotoxina en el día 3 después de la infección en el grupo III fueron significativamente menores que los niveles en el grupo I ( $p < 0,01$ ) y el grupo II ( $p < 0,01$ ). Hubo diferencias significativas entre los tres grupos en el cultivo de *P. aeruginosa* ( $p < 0,05$ ), concluyendo que la irrigación y desinfección con solución electrolizada puede resultar útil para prevenir la sepsis por quemaduras (Nakae e Inaba, 2000a). Hay tres factores principales que afectan la eficacia antimicrobiana de las soluciones electrolizadas: concentración de cloro disponible (ACC), pH y el potencial de oxidación-reducción (ORP), estos tres factores principales se influyen entre sí y cambian con el tiempo y temperatura. El valor del pH juega un papel importante en la formación de diversas sustancias cloradas, cuando el pH de la solución es de 5,0 a 6,5, el cloro primario está en forma de HOCl, y su capacidad de desinfección es 80 veces mayor que la del -OCl. Los resultados muestran que el ORP y ACC de las soluciones electrolizadas disminuyeron significativamente cuando el pH aumenta de ácido (pH 2,5) a alcalino (pH 9,0). Además, las soluciones electrolizadas generadas a diferentes temperaturas muestran diferentes ACC. El ACC se puede reducir con el aumento del tiempo de almacenamiento, por el otro lado los radicales libres (como los radicales hidroxilos (OH) también se consideran bactericidas, los radicales OH destruyen la estructura celular del microorganismo (Chen y Wang, 2022). ▶



Se han comparado las soluciones electrolizadas con otros antisépticos, para favorecer la cicatrización, Delgado *et al*, (2024) evaluaron la eficacia de la solución electrolizada superoxidada (SES), con concentraciones bajas (SES-bajas) o altas (SES-altas) de especies activas, sola o en combinación con una formulación en gel (G), en comparación con los tratamientos comúnmente prescritos para las quemaduras, incluyendo nitrofurazona (NF) y sulfadiazina de plata (S); se utilizó solución salina normal como placebo (PI). Se estableció un modelo de quemadura por escaldadura en ratones BALB/c. Las mediciones del área quemada y los parámetros histológicos como el estado de infiltración inflamatoria, la regeneración epitelial y las fibras de colágeno se evaluaron los días 3, 6, 9, 18 y 32 para evaluar la puntuación y el estado de cicatrización. Todos los tratamientos lograron el cierre de la herida el día 32; Los parámetros histopatológicos indicaron que los grupos SES-baja y SES-baja + G tuvieron un mejor desempeño que los grupos PI y S ( $P<0,05$ ). Todos los tratamientos mostraron un menor recuento de células inflamatorias en comparación con S ( $P<0,05$ ); para la deposición y orientación del colágeno, SES-baja + G mostró una orientación horizontal más uniforme en comparación con los grupos PI, SES-alta + G, NF y S ( $P<0,05$ ). SES-Low fue la sustancia más eficaz para inducir una cicatrización favorable y organizada, mientras que S fue la peor, induciendo un cierre desorganizado de la herida debido a un efecto proinflamatorio. Las quemaduras imponen desafíos como el riesgo de infección, el manejo del dolor, la pérdida de líquidos y el desequilibrio electrolítico, por la cual se requieren tratamientos efectivos para mejorar la cicatrización de las heridas.

La solución electrolizada superoxidada se produce a partir de una solución salina de cloruro de sodio activada mediante un proceso de electrólisis controlada y control de pH en un rango de 6,5 a 7,5, este proceso genera especies reactivas de cloro y especies reactivas de oxígeno (ROS), las especies reactivas clave de SES incluyen compuestos de cloro oxidantes, como el ácido hipocloroso (HOCl), y especies de ROS, como el peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), varios estudios informaron que la solución electrolizada exhibe propiedades similares a las de los compuestos activos que se producen durante la respuesta inmune innata; estos incluyen actividad antimicrobiana, efectos antiinflamatorios, disminución del estrés oxidativo, promoción de la regeneración tisular, angiogénesis y modulación inmune, lo que sugiere posibles beneficios terapéuticos para la cicatrización de heridas y control

de infecciones. Se ha demostrado que la solución electrolizada modula las respuestas inflamatorias, promoviendo una curación equilibrada y reduciendo la inflamación excesiva que puede impedir la regeneración de los tejidos. Las propiedades regenerativas de las soluciones electrolizadas también se han explorado en otras áreas, como la ingeniería de tejidos y heridas crónicas, además, las soluciones electrolizadas tienen potencial para modular la producción de factores de crecimiento y citocinas, facilitando la reparación y regeneración de tejidos. Algunos estudios han destacado el potencial de las soluciones electrolizadas para estimular la proliferación y migración de diversos tipos de células implicadas en la cicatrización de heridas, incluidos los queratinocitos y fibroblastos. Estas células desempeñan funciones esenciales en la reepitelización y la producción de componentes de la matriz extracelular necesarios para la regeneración de tejidos. Al promover la actividad celular, las soluciones electrolizadas pueden contribuir a acelerar el cierre de la herida y mejorar la regeneración del tejido.

El tratamiento exitoso de las quemaduras de espesor total es un desafío, debido a la gravedad de las heridas y al impacto en la calidad de vida de los pacientes. La curación de las quemaduras de tercer grado es un proceso dinámico y complejo, caracterizado por fases inflamatorias, proliferativas y de remodelación, que resultan en la regeneración y reepitelización de los tejidos afectados. La fase inflamatoria se caracteriza por quimiotaxis de diferentes células en el sitio lesionado, liberación de histamina, factores proinflamatorios, vasodilatación, diapedesis, activación de glóbulos blancos y fibroblastos. También se producen mecanismos prooxidantes, hemostasia, eliminación de tejido muerto, material extraño y microbiano. En la fase proliferativa se produce la migración de queratinocitos, fibroblastos y células endoteliales, dando como resultado una nueva epitelización, con formación de fibronectina, fibras de colágeno, tejido de granulación y neovascularización. Una fuerza impulsora clave de esta fase son los factores de crecimiento, producidos por los neutrófilos y macrófagos activados durante la fase inflamatoria. En la etapa de remodelación, la concentración de fibroblastos disminuye, el exceso de colágeno se degrada, diversas enzimas y factores de crecimiento en los líquidos extracelulares que se acumulan y alrededor de una herida promueven la reparación del tejido. En quemaduras graves, la mayor parte del tejido afectado puede ser inviable o necrótico, con vascularidad deficiente o comprometida; esto inhibe

la entrada de glóbulos blancos, como los neutrófilos al sitio de la lesión, lo que complica el proceso de curación, mientras que aumenta el riesgo de infección. El uso de antisépticos y cicatrizantes es clave para prevenir complicaciones. Lo ideal es que los antisépticos sean eficaces para evitar infecciones y no tóxicos para evitar la inhibición de la cicatrización de heridas. Como se mencionó anteriormente, las especies activas de solución electrolizada imitan las especies activas de cloro y ROS (especies reactivas de oxígeno) producidas por algunos glóbulos blancos; esto puede explicar el efecto no irritante, además promueve la curación de heridas al aumentar la oxigenación de la lesión, regulando la actividad inflamatoria y modulando varios procesos inmunológicos

Las ROS participan en la síntesis y depósito de colágeno y otras proteínas como la elastina de manera dependiente de la concentración. La exposición de fibroblastos a bajas concentraciones de ROS aumenta la síntesis de ARNm de elastina. La activación plaquetaria se detecta cuando la glicoproteína VI dérmica se expone a ROS. Por otro lado, las altas concentraciones de especies reactivas de oxígeno (ROS) se asocian con daño oxidativo, que puede afectar significativamente la cicatrización de heridas. Se sabe que los niveles altos de ROS causan daño oxidativo a varios componentes celulares, incluidos lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. Este daño oxidativo puede inhibir la síntesis de colágeno, lo que lleva a una función reducida de los fibroblastos y a una matriz extracelular debilitada. La fragmentación de las fibras de colágeno debido a los altos niveles de ROS compromete aún más la integridad estructural del tejido, haciéndolo más susceptible a complicaciones y retraso en la curación. El exceso de ROS también puede provocar una reticulación anormal de las fibras de colágeno, lo que da como resultado un tejido más rígido y menos elástico, lo que afecta negativamente el proceso de remodelación y puede conducir a la formación de cicatrices fibróticas. Además, los niveles elevados de ROS contribuyen al envejecimiento de la piel, las arrugas y la pérdida de elasticidad, lo que puede afectar la capacidad del tejido para curarse eficazmente en el tejido epitelial.

Las especies activas de cloro y oxígeno en las soluciones electrolizadas regulan la secreción/inhibición de citoquinas específicas, como TGF- $\beta$  y EGF, que atraen y estimulan la proliferación de fibroblastos y queratinocitos, células clave en la formación de nuevos tejidos y la reepitelización. Además, las soluciones electrolizadas actúan como factor inmunomodulador, inhibiendo la secreción de TNF- $\alpha$  e IL-6. Las soluciones electrolizadas pueden regular positivamente la producción y utilización de calcio intracelular, así como las metaloproteinasas de matriz 1 y 9, que desempeñan un papel esencial en todas las etapas de la cicatrización de heridas al modificar la matriz de la herida, lo que permite la migración celular y promueve una cicatrización y remodelación más rápida del tejido. Las especies activas de cloro y oxígeno en SES pueden afectar integridad celular a través del estrés oxidativo y la inflamación, sin embargo, tanto la evidencia previa como el presente estudio demuestran un efecto beneficioso de la aplicación tópica de NSE bajo en la cicatrización de heridas sin efectos adversos notables. Las investigaciones futuras deberían centrarse en dilucidar los mecanismos subyacentes, examinar cómo estas especies activas influyen en la regulación de las citocinas y comprender su impacto

en la función e integridad celular. Esta comprensión más profunda proporcionará una imagen más clara del papel dual de las especies de cloro y oxígeno tanto en el daño celular potencial como en la curación, contribuyendo a una comprensión más completa de cómo SES apoya la reparación de heridas a nivel molecular y celular. SES-bajo y SES-bajo + G mostraron mejores puntuaciones de colágeno y estado de curación que SES-alto y SES-alto + G. Los tratamientos con NF, SES-alto y SES-alto + G no impidieron significativamente la cicatrización de heridas, pero produjeron un efecto irritante, como lo demuestra el aumento del infiltrado inflamatorio y la deposición de colágeno menos organizada observada en estos grupos, lo que resultó en un estado de curación más bajo.

La humedad de la lesión también es otro factor para la correcta evolución de la herida. En comparación con los ambientes secos, las heridas hidratadas muestran una reducción de la necrosis y del infiltrado inflamatorio, así como un aumento de la angiogénesis y curación más rápida y de mejor calidad, las soluciones electrolizadas permiten tener herida húmedas.

## Conclusiones

Las soluciones electrolizadas son una terapia complementaria potencialmente eficaz para la cicatrización de heridas ■



## Referencias

- Altamirano, A.M. (2006) Reducing Bacterial Infectious Complications from Burn Wounds. A look at the use of Oculus Microcyn60 to treat wounds in Mexico. Wounds, 17-19.
- Bongiovanni, C.M. (2006) Superoxidized Water Improves Wound Care Outcomes in Diabetic Patients. Today's Practice, 11-14.
- Bunman, S., Dumavibhat, N., Chatthanawaree, W., Intalapaporn, S., Thuwachaosuan, T., Thongchuan, C. (2017) Burn Wound Healing: Pathophysiology and Current Management of Burn Injury. The Bangkok Medical Journal, 13(2); 2287-9674.
- Chen BK, Wang CK. Electrolyzed Water and Its Pharmacological Activities: A Mini-Review. Molecules. 2022 Feb 11;27(4):1222. doi: 10.3390/molecules27041222. PMID: 35209015; PMCID: PMC8877615.
- Delgado-Enciso I, Aurelien-Cabezas NS, Meza-Robles C, Walle-Guillen M, Hernandez-Fuentes GA, Cabrera-Licona A, Hernandez-Rangel AE, Delgado-Machuca M, Rodriguez-Hernandez A, Beas-Guzman OF, Cardenas-Aguilar CB, Rodriguez-Sanchez IP, Martinez-Fierro ML, Chaviano-Conesa D, Paz-Michel BA. Efficacy of neutral electrolyzed water vs. common topical antiseptics in the healing of full-thickness burn: Preclinical trial in a mouse model. Biomed Rep. 2024 Oct 10;21(6):189. doi: 10.3892/br.2024.1877. PMID: 39479362; PMCID: PMC11522847.
- Fadriuela, A. Sajo, M.E.J., Bajgai, J., Kim, Dong-H. Kim, Cheol-S., Kim, Soo-K., Lee, Kyu-J. (2020) Effects of Strong Acidic Electrolyzed Water in Wound Healing via Inflammatory and Oxidative Stress Response. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2459826.
- Horari, S. (2004) Topical therapies and antimicrobials in the management of burn wounds. Critical Care Nursing Clinics of North America, 16(1); 1-11.
- Nakae H, Inaba H (b). Effectiveness of electrolyzed oxidized water irrigation in a burn-wound infection model. J Trauma. 2000 Sep;49(3):511-4. doi: 10.1097/00005373-200009000-00020. PMID: 11003331.
- Nakae H, Inaba H(a). Electrolyzed strong acid aqueous solution irrigation promotes wound healing in a burn wound model. Artif Organs. 2000 Jul;24(7):544-6. doi: 10.1046/j.1525-1594.2000.06550.x. PMID: 10916065.
- Quist, E.M., Tanabe, M., Mansell, J.E.K.L., Edwards, J. (2011) A case series of thermal scald injuries in dogs exposed to hot water from garden hoses (garden hose scalding syndrome). Veterinary Dermatology, 23(2); 162-e33.
- Shnyakina, T.N., Shcherbakov, N.P., Bryukhanchikova, N.M., Medvedeva, L.V., Bezin, A.N. (2021) Experience in treatment of thermal burns in dogs. E3S Web of Conferences 282, 03021.
- Xin H, Zheng YJ, Hajime N, Han ZG. Effect of electrolyzed oxidizing water and hydrocolloid occlusive dressings on excised burn-wounds in rats. Chin J Traumatol. 2003 Aug;6(4):234-7. PMID: 12857518.

# VeteriBac<sup>®</sup> gel

## Mascotas

## EN HERIDAS:

- ◆ Mayor protección antiséptica
- ◆ Regenera la piel dañada
- ◆ Evita y elimina una infección



Número de registro: Q-0702-007

