

# Aplicación de sistemas tópicos de presión negativa en heridas y defectos de cobertura en extremidades traumatizadas

Dr. Luis Fernando Calixto Ballesteros\*, Dr. Mauricio Villegas González\*\*

\* Profesor asociado, Unidad de Ortopedia y Traumatología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

\*\* Residente de IV año de Ortopedia y Traumatología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Correspondencia:

Dr. Luis Fernando Calixto

Cra. 23 n.º 45C-31 (514), Bogotá, Colombia.

Tel. (571) 2876773

lfcaltxtob@unal.edu.co

Fecha de recepción: 28 de junio de 2012

Fecha de aprobación: 22 de noviembre de 2012

## Resumen

**Introducción:** Es frecuente el retraso en el oportuno manejo de heridas y defectos de cobertura postraumáticos en extremidades por diferentes motivos. Los sistemas tópicos de presión negativa (SPN) son una alternativa terapéutica de fácil aplicación en nuestro medio con buenos resultados y escasos eventos adversos y complicaciones según reporta la literatura mundial.

**Materiales y métodos:** Se desarrolló un estudio prospectivo observacional de la evolución de una serie de 9 pacientes con heridas y defectos de cobertura sobre tejidos óseos, musculares, tendinosos y sobre materiales de osteosíntesis, en quienes se aplicaron sistemas tópicos de presión negativa para mejorar el proceso de cicatrización.

**Resultados:** Se trataron 9 pacientes con una edad promedio de 50,7 años y predominio del sexo masculino (66 %). Se evidenciaba infección activa de la herida o defecto de cobertura en el 66 % de los casos. En el 55 % de los pacientes se encontraba exposición de material de osteosíntesis posoperatoria, motivo principal por el cual se indicó la aplicación del sistema de presión negativa tópico. El tiempo promedio de uso del SPN en nuestra serie fue de 12,8 días. Se logró una disminución en promedio de 45 % en la longitud inicial (2,8 cm), de 44 % en el ancho inicial (2,3 cm) y de 59 % en la profundidad inicial (3,5 cm). En los pacientes con infección activa se identificó un mayor porcentaje de disminución del ancho y de la profundidad de las heridas.

**Discusión:** Los sistemas de presión negativa son útiles para estimular la formación de tejido de granulación viable a corto plazo, así como para reducir la cantidad de exudado, especialmente en los casos con infección activa.

**Palabras clave:** Sistemas de presión negativa tópicos, heridas, cicatrización de heridas, traumatismos de las extremidades inferiores, vendajes.

**Nivel de evidencia:** IV

[Rev Col Or Tra 2013; 27(1): 48-55]

## Abstract

**Introduction:** A delay in the time of management of wounds and post-traumatic soft tissue injuries with coverage defects is being widely described as a result of several different reasons. Negative pressure wound therapy systems are easy to apply and a well described therapeutic alternative traumatic for orthopedic injuries with good results, few adverse events and complications as reported worldwide.

**Methods:** We performed a prospective observational study evaluating the expected results of a 9 patients series with limb injuries and coverage defects of bone tissue, muscle, tendon and osteosynthesis materials. We used those systems to apply topical negative pressure in order to enhance the healing process.

**Results:** 9 patients were treated; the average age was 50.7 years, 66% male. It was evident active infection of the wound or defect coverage in 66% of cases. In 55% of the patients there was osteosynthesis implant exposure. The average time using the VAC in our series was 12.8 days. It was achieved a decrease in initial length average of 45% (2.8 cm), width average of 44% (2.3 cm) and depth average of 59% (3.5 cm). Patients with active infection showed a higher percentage of decrease of the width and depth average of wounds.

**Discussion:** VAC systems are useful for stimulating the formation of viable granulation tissue in the short term, as well as reduce the amount of exudate, especially in cases with active infection.

**Key words:** Negative-pressure wound therapy, wounds, wound healing, lower extremity injuries, bandages.

**Evidence level:** IV

[*Rev Col Or Tra* 2013; 27(1): 48-55]

## Introducción

La curación de las heridas agudas de los tejidos blandos se da gracias a una secuencia de complejos eventos biomecánicos y celulares. Dicha secuencia de eventos inicia con la hemostasis, seguida por el proceso de inflamación local y posterior aparición de proliferación celular y tisular. Finalmente, en condiciones normales se inicia el proceso de remodelación de las heridas para completar la cicatrización. Dicho proceso de curación en el caso de las heridas crónicas es más lento y menos organizado, lo cual probablemente está determinado por una serie de factores de riesgo inherentes del paciente como la presencia de infección local, el incremento en la producción de proteasas, las alteraciones del estado nutricional, la presencia de enfermedad o lesión vascular y la exposición a radiación, entre otras (1). En este contexto se hace necesario corregir los defectos en las diferentes fases de la cicatrización, así como la elaboración de métodos para acelerar dichos procesos. Para activar ese proceso de proliferación celular y tisular es indispensable en muchos casos la inducción de mitogénesis local, incluyendo la utilización factores de crecimiento, matrices extracelulares y las mismas fuerzas mecánicas.

Los sistemas de presión negativa (SPN) han sido usados desde 1940 como un método alternativo para el manejo de las heridas; sin embargo, solo hasta la década de los 90 lograron popularizarse, particularmente gracias al trabajo de Argenta y Morykwas (2). Estos dos autores describieron el uso de un sistema de presión subatmosférica (VAC-KCI) a

través de una espuma de poliuretano con una estructura de poros abiertos, lo cual permitía acelerar la cicatrización de las heridas. Fueron ellos dos quienes sentaron las bases para el conocimiento científico de dicho tratamiento.

Chariker en 1989 ya había descrito una terapia de drenaje con presión negativa utilizando gasa para curar las heridas, muy similar al trabajo contemporáneo presentado por Miller en la Unión Soviética.

En la última década se ha evidenciado un aumento en el uso de la terapia de presión negativa en el manejo de las heridas. Esta tecnología definitivamente ha revolucionado el tratamiento de muchos pacientes con heridas tanto agudas como crónicas. Múltiples estudios han reportado patologías en las cuales ha sido útil la aplicación de los SPN como son: úlceras en pie diabético (3-5), úlceras postraumáticas, úlceras posquirúrgicas, úlceras por presión, úlceras por estasis venoso, heridas crónicas, heridas infectadas (4, 6), fascitis necrotizante, dehiscencia esternal, heridas con exposición ósea, tendinosa o de materiales de osteosíntesis, síndromes compartimentales en extremidades, fracturas abiertas en miembros inferiores (7), en el cuidado de injertos de piel y en heridas abdominales, entre otras (8-10). Algunos estudios ya reportan resultados favorables en términos de costoefectividad con la implementación de este tipo de terapias de presión negativa a expensas de una disminución en el tiempo de estancia hospitalaria, necesidad de realizar

amputaciones, recuperación funcional y gastos por cambios de diferentes tipos de apósitos locales tanto en el ámbito hospitalario como en el ambulatorio (11).

La aplicación generalizada de la terapia de presión negativa en las últimas dos décadas se ha debido, sobre todo, a las experiencias clínicas favorables reportadas en estudios retrospectivos y series de casos, más que a la presencia en la literatura de ensayos clínicos aleatorizados con un adecuado nivel de evidencia o a un profundo conocimiento científico. A raíz de los conflictos armados en el medio oriente y Afganistán resurge la necesidad de mejorar el abordaje y manejo de heridas complejas en las extremidades, con lo cual las terapias de presión negativa tópicas se han convertido en una alternativa de primera elección por algunos ortopedistas y traumatólogos que desarrollan su labor en estos medios (12, 13).

La literatura reciente sugiere que los mecanismos de acción primarios de los dispositivos de presión negativa incluyen la contracción de los bordes de la herida (macrodeformación), la estabilización del entorno de la herida, la disminución del edema, la eliminación del exudado y la microdeformación de la superficie de la herida (figura 1). Además, se mencionan algunos efectos secundarios que incluyen el aumento de la angiogénesis, la formación de tejido de granulación y, en algunos casos, una disminución de la población bacteriana. También se encuentran reportes en la literatura de su utilidad en pacientes con *degloving* a nivel de las extremidades como alternativa a los colgajos libres y pediculados (14).

Biomecánicamente es claro que el edema puede llegar a causar la compresión de las células dentro de la matriz extracelular, disminuyendo su tensión intrínseca, lo que resulta en una disminución de la respuesta proliferativa. La aplicación de succión distribuida permite la evacuación directa del líquido desde el espacio extracelular y parece disminuir el edema. Bajo esta premisa se ha planteado la utilización de este tipo de sistemas también en pacientes con síndrome compartimental de las extremidades y en el proceso de cierre de las fasciotomías realizadas (15-17).

La deformación del tejido se produce por movimiento del líquido intersticial y la deformación del colágeno, fenómeno similar a lo que sucede cuando se aprieta una esponja húmeda, con cambios en las concentraciones iónicas de los líquidos intersticiales y generación de corrientes eléctricas intersticiales (18). Asimismo, las células incrustadas en los tejidos también se deforman; las fuerzas de succión tienden a deformar la membrana celular.

Gracias a este mejor conocimiento del mecanismo por el cual la presión negativa afecta al lecho de la herida, los cirujanos pueden elegir los apósitos y configuraciones de presión adecuados para la terapia de presión negativa a fin de obtener efectos óptimos con mínimas complicaciones (19).

En el ámbito ortopédico la dehiscencia de las heridas quirúrgicas es una complicación que puede ocurrir después del tratamiento, después del cierre de una herida aguda en las extremidades o después de un desbridamiento exhaustivo secundario a un proceso infeccioso superficial, quedando eventualmente expuesto el tejido óseo o los materiales de osteosíntesis. Adicionalmente, es común que estos pacientes sean de alto riesgo con múltiples comorbilidades que impiden la pronta curación y cierre de las heridas.

Múltiples estudios han mostrado entonces que los sistemas de presión negativa tienen particular utilidad en presencia de materiales de osteosíntesis, tendones, articulaciones o tejido óseo expuestos.

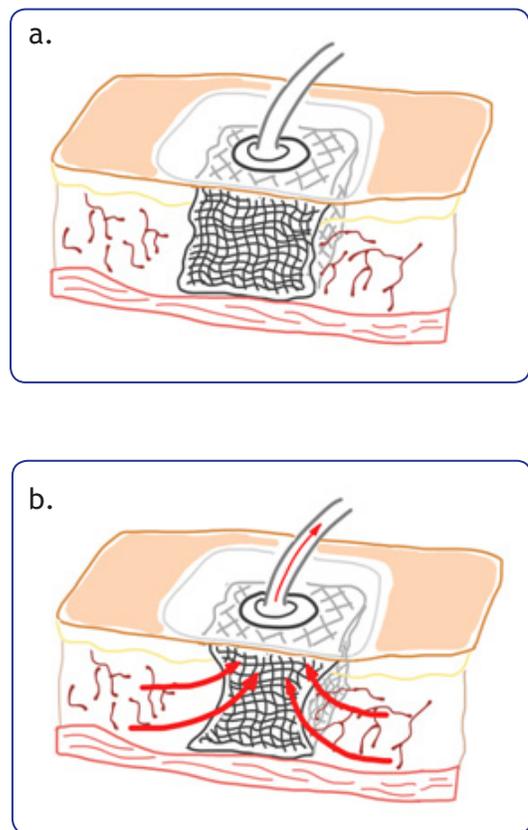


Figura 1. a) y b) Macrodeformación de los tejidos con SPN.

Desde el punto de vista técnico la terapia de presión negativa emplea un sistema sellado de drenaje para realizar una aspiración controlada (vacío) en el lecho de la herida. Primero, se rellena la herida con un material de relleno (gasa o espuma) para que la presión se distribuya de manera uniforme por el lecho de la herida. A continuación, se sella la herida con un apósito plástico adhesivo y finalmente se conecta el drenaje a un sistema de vacío. Se aspira el exudado de la herida a través del drenaje y se recoge en un recipiente (canester).

Como ya se mencionó, los efectos positivos de la terapia de presión negativa para acelerar y mejorar la cicatrización de las heridas se deben a la conjunción de una serie de eventos como el permitir evacuar el exudado, reducir el edema tisular y generar contracción de los bordes de la herida. Asimismo, estimula mecánicamente el lecho de la herida favoreciendo el flujo sanguíneo en los bordes de la misma y la angiogénesis, con formación de tejido de granulación.

Algunos autores le confieren un papel importante en la protección frente a la infección al sellar la herida y, como hay que cambiar menos veces los apósitos, reducir aún más el riesgo de contaminación.

Los efectos a nivel del lecho de la herida dependerán del tipo de apósito utilizado así como del nivel de presión negativa aplicado.

Los apósitos que están en contacto directo con el lecho de la herida interactuando con ella se denominan materiales de contacto con la herida. Estos materiales pueden ser el relleno de la herida (habitualmente una espuma de poliuretano de estructura de poros abiertos, espumas de polivinil o una gasa humedecida) o pueden estar separados de ella por una capa de contacto con la herida, materiales poco adherentes, los cuales se colocan por debajo del relleno para cubrir el lecho de la herida. Se puede situar esta capa de contacto sobre estructuras sensibles o delicadas, pero también sobre el propio lecho de la herida porque se cree que evita el crecimiento del tejido de granulación en el interior del material de relleno de la herida. Algunos autores reportan que el tejido del lecho de la herida puede crecer en la espuma, pero no en la gasa.

Los rellenos ejercen un efecto mecánico en la herida y estimulan su superficie provocando que las células se dividan para reconstruir y reforzar el tejido. Algunos estudios sugieren que la presión negativa se distribuye igual a través de los diferentes materiales de relleno (espuma y gasa).

El drenaje activo del exudado de la herida hace disminuir los diversos inhibidores de la cicatrización de la herida, como son las enzimas proteolíticas y las metaloproteinasas.

Es importante colocar el relleno de la herida en contacto directo con la zona de tejido donde se desea ejercer el efecto de la terapia de presión negativa.

Sin embargo, pueden presentarse complicaciones asociadas al crecimiento celular dentro de la espuma como son la presencia de dolor durante el cambio —debido a la ruptura del tejido que ha crecido dentro del apósito— la alteración y el daño mecánico del lecho de la herida causado por la ruptura del tejido que crece dentro del apósito durante el cambio de este y la presencia de trozos de espuma pegados en el lecho de la herida que, si se mantienen, actúan como cuerpos extraños que pueden dificultar la cicatrización.

## Materiales y métodos

La población en estudio incluyó pacientes con heridas y defectos de cobertura sobre tejidos óseos, musculares, tendinosos y sobre materiales de osteosíntesis, tratados en el Hospital El Tunal y el Hospital Central de la Policía en la ciudad de Bogotá, a quienes se decidió aplicar sistemas tópicos de presión negativa para acelerar y mejorar el proceso de cicatrización. Se excluyeron los pacientes con heridas de origen no traumático o posquirúrgico, ante la presencia de tejido necrótico en el lecho de la herida, osteomielitis no tratada, malignidad, sangrado activo o vasos sanguíneos expuestos, pacientes a quienes no se pudo realizar un completo seguimiento hospitalario y ambulatorio hasta el cierre de las heridas y aquellos que no autorizaron por medio del consentimiento informado la aplicación del sistema.

Se realizó un estudio de tipo prospectivo no aleatorizado observacional. El análisis de resultados se llevó a cabo con el paquete estadístico SPSS 15.0.

Para el análisis de los resultados se evaluó la disminución del tamaño de las heridas a través de un sistema de coordenadas tridimensional, en el cual el eje X representa la longitud; el eje Y, el ancho, y el eje Z, la profundidad (figura 2).

Se evaluaron las variables: edad, género, localización, longitud, ancho y profundidad iniciales y finales, duración, número de cambios del sistema, diagnóstico, presencia de infección concomitante, eventos adversos y complicaciones. El estudio fue aprobado por el comité de ética de la Universidad Nacional de Colombia, cumpliendo así con lo

establecido en la Resolución 008430 de 1993 del Ministerio de Salud que define las normas técnicas, administrativas y científicas para la investigación en salud en la República de Colombia.

## Resultados

Se consiguió el seguimiento de 9 pacientes, los cuales cumplieron con los criterios de selección para el estudio, con un promedio de edad de 53,1 años. En el 100 % de los pacientes se documentó el antecedente de trauma reciente y en el 57,1 % de ellos se evidenciaba infección activa de la herida o defecto de cobertura. En 5 de los 9 pacientes se encontraba exposición de material de osteosíntesis posoperatoria, motivo principal por el cual se indicó la aplicación del sistema de presión negativa tópico. El tiempo promedio de uso del SPN en nuestra serie fue de 12,8 días con una desviación estándar de 4,22 (tabla 1).



Figura 2. Sistema de coordenadas tridimensional.

Tabla 1. Características de la población estudiada.

Paciente	Edad (años)	Sexo	Tiempo de uso (días)	Diagnóstico	Infección	Material de osteosíntesis expuesto	Número de cambios
1	45	Masc.	14	Fractura intertrocanterica de la cadera izquierda	No	Sí	4
2	60	Masc.	19	Infección del sitio operatorio en la cadera derecha	Sí	No	4
3	81	Fem.	14	Fractura intertrocanterica de la cadera derecha	Sí	Sí	3
4	57	Fem.	13	Fractura trimaleolar del tobillo izquierdo	Sí	Sí	3
5	34	Fem.	14	Fractura del calcáneo izquierdo	No	No	2
6	80	Masc.	11	Fractura intertrocanterica de la cadera izquierda	Sí	No	2
7	15	Masc.	5	Fractura abierta grado IIIA de la tibia derecha	No	No	1
8	63	Masc.	14	Fractura del pilón tibial izquierdo	Sí	Sí	4
9	22	Masc.	12	Fractura de pelvis inestable	Sí	Sí	3
<b>Promedio</b>	50,7		12,8				2,8

Nota. Masc.: Masculino; Fem.: Femenino

Tabla 2. Disminución del tamaño de las lesiones.

Paciente	Disminución de la longitud		Disminución del ancho		Disminución de la profundidad	
	cm	%	cm	%	cm	%
1	5,5	64,7	4,2	51,2	12,0	80
2	3,0	50	4,0	57,1	6,8	68
3	2,0	50	3,0	60	3,0	75
4	3,0	50	3,0	60	1,5	75
5	6,0	92,3	0,4	7,7	0,5	50
6	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	14
7	0,0	0,0	1,2	40	0,3	30
8	3,0	42,8	2,0	50	1,0	50
9	3,0	60	3,0	75	4,5	90
<b>Promedios</b>	<b>2,8</b>	<b>45,5</b>	<b>2,3</b>	<b>44,5</b>	<b>3,5</b>	<b>59,1</b>

Tabla 3. Complicaciones y eventos adversos.

Paciente	Complicaciones	Eventos adversos
1	Ruptura de la membrana semipermeable	Dolor abdominal
2	Ninguna	Ninguno
3	Ninguna	Ninguno
4	Ninguna	Ninguno
5	Ninguna	Ninguno
6	Ruptura de la membrana semipermeable	Ninguno
7	Ninguna	Ninguno
8	Ninguna	Ninguno
9	Ninguna	Ninguno

La longitud inicial de los defectos en los diferentes pacientes presentaba un tamaño promedio de 6,1 cm; con la instauración de los sistemas de presión negativa tópicos se produjo una reducción promedio de 45 % con una reducción en centímetros de aproximadamente 2,8 cm. En un paciente se alcanzó una reducción del defecto mayor al 90 % (tabla 2).

El ancho inicial de los defectos en los diferentes pacientes presentaba un tamaño promedio de 5,1 cm; con la instauración del VAC se produjo una reducción promedio de 44 % con una reducción en centímetros de aproximadamente 2,3 cm

(tabla 2). Entre los pacientes con infección el promedio del porcentaje de disminución del ancho fue de 50 % y en los no infectados el promedio fue de 32,9 % (figura 3).

La profundidad inicial de los defectos en los diferentes pacientes presentaba un tamaño promedio de 6,1 cm; con la instauración del VAC se produjo una reducción promedio de 59 % con una reducción en centímetros de aproximadamente 3,5 cm (tabla 2). En un paciente se consiguió una disminución del 80 % (12 cm) y en otro, una reducción en la profundidad del 90 % (4,5 cm). Entre los pacientes con infección el

promedio del porcentaje de disminución de la profundidad fue de 62 % y en los no infectados el promedio fue de 53,3 % (figura 3).

Se encontró disminución en promedio de la longitud, ancho y profundidad de 53 %, 59 % y 74 % respectivamente en los casos con exposición de material de osteosíntesis versus una reducción de un 35 %, 26 % y 40 % en su orden cuando no existía tal exposición (figura 4).

Durante el estudio se presentaron dos complicaciones (tabla 3) asociadas al uso del sistema, dadas por la ruptura de la película semipermeable, motivo por el cual en uno de los pacientes (paciente 6) no se evidenció un adecuado cambio en las dimensiones del defecto de cobertura.

En el paciente 7 se realizó una sola aplicación del sistema obteniendo formación de tejido de granulación sobre el segmento óseo comprometido y se realizó el cierre de la herida gracias a la contracción de sus bordes.

En uno de los pacientes se presentó como reacción adversa dolor abdominal en la primera aplicación del sistema a nivel de la cadera. Sin embargo, esta sintomatología mejoró después de 24 horas y se logró completar el manejo sin reaparición del dolor (tabla 3).

## Discusión

En nuestra serie de casos se encontró una particular utilidad de los sistemas de presión negativa para lograr una adecuada cobertura del material de osteosíntesis o de superficies óseas expuestas, con formación de tejido de granulación viable a corto plazo (figura 5). De acuerdo a estos hallazgos, se considera que los sistemas de presión negativa pueden representar una alternativa terapéutica muy útil para lograr una adecuada cobertura del material de osteosíntesis o de superficies óseas expuestas en extremidades traumatizadas o posquirúrgicas.

Se identificó una importante reducción en la cantidad de exudado a nivel de las heridas, especialmente en aquellas con infección activa (figura 6). La disminución progresiva en la cantidad de exudado puede estar relacionada con el mayor porcentaje de disminución de tamaño en las heridas con infección activa. La disminución del espacio muerto en aquellas heridas profundas así como la disminución del exudado favorece la invasión del tejido de granulación por contigüidad, favoreciendo el proceso de cicatrización.

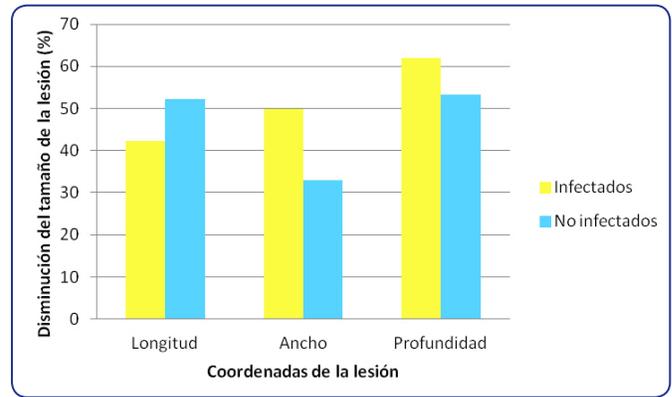


Figura 3. Disminución del tamaño de las lesiones según la presencia de infección.

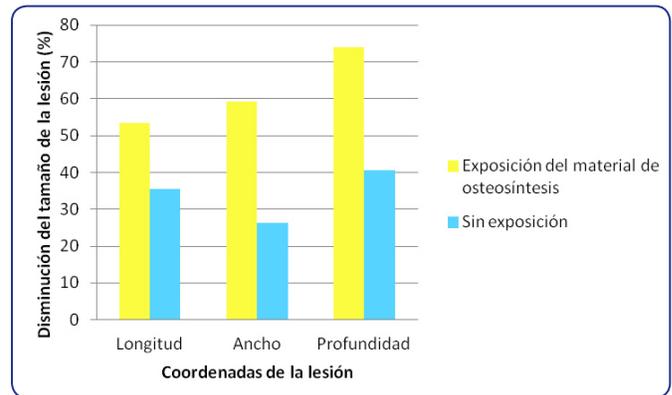


Figura 4. Disminución del tamaño de las lesiones según la exposición del material de osteosíntesis.

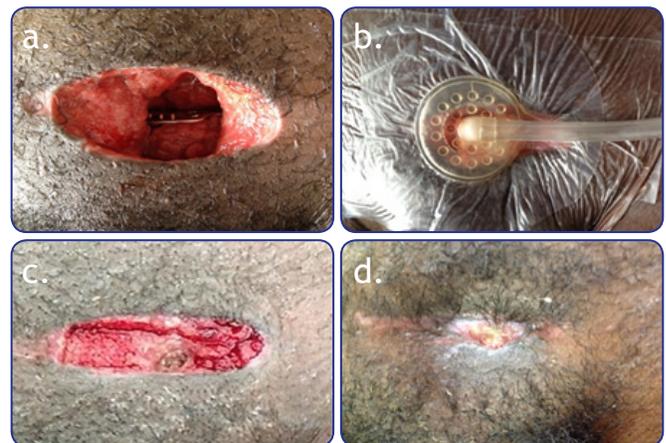


Figura 5. a) Lesión que va a ser tratada con el sistema de presión negativa. b) Aplicación del sistema de presión negativa sobre la herida. c) y d) Resultados a corto plazo.



Figura 6. a) Lesión con exposición del material de osteosíntesis que va a ser tratada con el sistema de presión negativa. b) Aplicación del sistema de presión negativa sobre la herida. c) Resultados a mediano plazo.

Las complicaciones y efectos adversos encontrados coinciden con los reportados en la literatura y están relacionados directamente con la mala manipulación de los SPN tópicos. Es fundamental para evitar este tipo de eventos la colaboración y compromiso del paciente, su familia y el personal asistencial encargado de su cuidado.

Consideramos a los SPN tópicos una alternativa importante para el manejo de heridas traumáticas y posquirúrgicas en nuestro medio.

## Referencias bibliográficas

1. Orgill DP, Manders EK, Sumpio BE, Lee RC, Attinger CE, Gurtner GC, Ehrlich HP. The mechanisms of vacuum assisted closure: more to learn. *J Surg* 2006; 146(1): 40-51.
2. Argenta LC, Morykwas MJ. Vacuum-assisted closure: a new method for wound control and treatment: clinical experience. *Ann Plast Surg* 1997; 38: 563-76.
3. Armstrong DG, Lavery LA. Negative pressure wound therapy after partial diabetic foot amputation: a multicentre, randomised controlled trial. *Lancet* 2005; 366(November (9498)): 1704-10.
4. Braakenburg A, Obdeijn MC, Feitz R, van Rooij IA, van Griethuysen AJ, Klinkenbijn JH. The clinical efficacy and cost effectiveness of the Vacuum-Assisted Closure technique in the management of acute and chronic wounds: a randomised controlled trial. *Plast Reconstr Surg* 2006; 118: 390-7.
5. Eginton MI, Brown KR, Seabrook GR, Towne JB, Cambria RA. A prospective randomised evaluation of negative pressure wound dressings for diabetic foot wounds. *Ann Vasc Surg* 2003; 17: 645-9.
6. Leininger BE, Rasmussen TE, Smith DL, Jenkins DH, Coppola C. Experience with wound VAC and delayed primary closure of contaminated soft tissue injuries in Iraq. *J Trauma* 2006; 61(November (5)): 1207-11.
7. Parrett BM, Matros E, Pribaz JJ, Orgill DP. Lower extremity trauma: trends in the management of soft-tissue reconstruction of open tibia-fibula fractures. *Plast Reconstr Surg* 2006; 117(4): 1315-22.
8. Morykwas MJ, Argenta LC, Shelton-Brown EI, McGurt W. Vacuum-assisted closure: a new method for wound control and treatment: animal studies. *Ann Plast Surg* 2007; 38(6): 553-62.
9. Morykwas MJ, Argenta LC. Vacuum-assisted closure: a new method for wound control and treatment: clinical experience. *Ann Plast Surg* 2007; 38(6): 563-76.
10. Stannard JP. Negative pressure wound therapy to treat haematomas and surgical incisions following high energy trauma. *J Trauma-Injury Infect Crit Care* 2006; 60(June (6)): 1301-6.
11. Hiskett G. Clinical and economic consequences of discharge from hospital with on-going TNP therapy: A pilot study. *J Tissue Viability* 2010; 19: 16-21.
12. Fries CA, Jeffery SLA, Kay AR. Topical negative pressure and military wounds: A review of the evidence. *Injury* 2011; 42: 436-40.
13. Braakenburg A, Obdeijn MC, Feitz R, van Rooij IA, van Griethuysen AJ, Klinkenbijn JH. The clinical efficacy and cost effectiveness of the vacuum-assisted closure technique in the management of acute and chronic wounds: a randomized controlled trial. *Plast Reconstr Surg* 2006; 118(2): 390-7.
14. Dini M, Quercioli F, Mori A, Romano GF, Lee AQ, Agostini T. Case report: Vacuum-assisted closure, dermal regeneration template and degloved cryopreserved skin as useful tools in subtotal degloving of the lower limb. *Injury* 2012; 43: 957-9.
15. Yang ML, Chang DS, Webb LX. Vacuum-assisted closure for fasciotomy wounds following compartment syndrome of the leg. *J Surg Orthop Adv* 2006; 15: 19-23.
16. Weiland DE. Fasciotomy closure using simultaneous vacuum-assisted closure and hyperbaric oxygen. *Am Surg* 2007; 73: 261-6.
17. DeFranzo AJ, Argenta LC, Marks MW, Molnar JA, David LR, Webb LX, et al. The use of vacuum-assisted closure therapy for the treatment of lower-extremity wounds with exposed bone. *Plast Reconstr Surg* 2001; 108: 1184-91.
18. Murphey GC, Macias BR, Hargens AR. Depth of penetration of negative pressure wound therapy into underlying tissues. *Wound Repair Regen* 2009; 17: 113-7.
19. Kairinos N, Solomons M, Hudson DA. Negative-pressure wound therapy I: the paradox of negative-pressure wound therapy. *Plast Reconstr Surg* 2009; 123: 589-98.