



음압 창상 처치(Negative pressure wound therapy)에 대한 문헌적 고찰

유주리¹, 강재경^{2,*}

¹제주대학교 의학전문대학원 의학과, ²제주대학교병원 성형외과

Review of negative-pressure wound therapy by Ju Lee You¹, Jae Kyoung Kang^{2,*} (¹Jeju National University School of Medicine, Jeju, Korea; ²Department of Plastic and Reconstructive Surgery, Jeju National University Hospital, Jeju, Korea)

Abstract Advances in medical technology has enabled better management of complicated and chronic wounds. Negative-pressure wound therapy (NPWT) is a novel dressing technique that uses negative pressure to drain exudates and blood from wounds. NPWT increases local blood flow and promotes reduction of edema and wound healing and is suitable for a variety of wounds. It is associated with few adverse effects and shows excellent efficacy and cost-effectiveness. NPWT promotes rapid growth of granulation tissue and wound contraction; thus, it is more advantageous than general dressings as it reduces the size skin of grafts or flaps required for repair, and patients with chronic wounds can be treated as outpatients. We investigated the general usage and mechanism of NPWT, its clinical applications and adverse effects.

Key words: Negative-pressure wound therapy, Soft tissue injuries, Wounds and injuries, Wound healing, Complex wound, Wound management

서 론

의료기술이 발달함에 따라 과거보다 복잡하고 만성적인 창상이 많아지고 있다.¹⁾ 이러한 창상을 치료하기 위해서 고안된 음압 창상 처치(Negative-pressure wound therapy, NPWT)는 수술의 보조요법으로 사용하거나 수술이 불가능한 경우에 사용한다.²⁾ NPWT는 창상에 스펀지 등의 소재를 넣고 필름으로 밀폐한 후 연결 튜브와 기계를 이용해 음압을 걸어 창상에 골고루 음압이 걸리도록 하는 드레싱 방법이다. 이를 통해 창상에서 나오는 삼출물이나 혈액을 제거하고 국소적으로 혈류를 증가시켜 부종 감소 및 상처 치유를 촉진할 수 있다.³⁾

NPWT는 1990년대에 진공-폐쇄 드레싱(Vacuum-Assisted

Closure, VAC)으로 처음 소개된 이후 기술의 혁신에 따라 많은 논문이 출판되었다.³⁾ VAC는 초기에 만성 창상 환자가 병원 밖에서도 간단하게 관리할 수 있도록 고안된 방법이다. 이후 용어가 NPWT로 바뀌었고 추가적인 연구를 통해 터져서 벌어져 수술 상처나 피판, 이식 편을 포함한 다양한 종류의 상처와 임상 상황에 적용해 나가고 있다.¹⁾

이렇게 활발한 연구가 진행되고 있는 분야로 창상 치료에 사용되고 있는 NPWT에 대해 논문을 리뷰하고자 한다.

NPWT의 일반적 사용법

NPWT는 접착성 반-폐쇄(semi-occlusive) 드레싱, 모으는 통(collection canister), 진공 기계(vacuum source), 앞의 두 가지에 연결된 배액관, 경계면 소재(interface material)가 필요하다. 드레싱은 반창고나 필름으로 상처를 밀폐하는 것이고 상처가 건조해지지 않게 적절히 음압이 유지되어야 한다. 경

Received: August 28, 2018; Revised: October 26, 2018; Accepted: November 4, 2018

*Correspondence to : Jae Kyoung Kang

Department of Plastic and Reconstructive Surgery, Jeju National University Hospital, 15, Aran 13-gil, Jeju 63241, Republic of Korea

Tel: 82-64-717-1742, FAX: 82-64-717-1102

E-mail: yoyo9906@naver.com

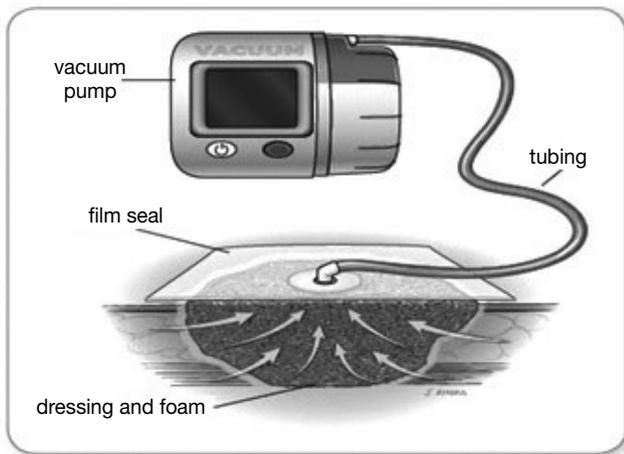


Fig. 1. This is standard negative-pressure wound therapy.⁴⁾

계면 소재로는 주로 폴리우레탄 폼을 이용하여 상처에 맞게 잘라 상처 내에 위치시키면 폼 내의 작은 구멍들을 통해 음압을 창상 내에 적절히 분산시키고 체액을 제거하며 상처 표면에 소변형(microdeformation)을 일으키는 역할을 한다(Fig. 1).¹⁾ 드레싱과 폼은 2~3일 간격으로 교체해야 한다. 음압은 50~200 mmHg까지 조절할 수 있지만 주로 125 mmHg 근방에서 사용하고 지속적 또는 간헐적 방식을 선택할 수 있다.²⁾

NPWT의 메커니즘

혈류 증가는 상처 치유에 필수적인 과정으로 산소와 영양분을 제공하고 노폐물을 제거한다. NPWT로 조직을 압박하여 저산소증이 발생하면 다양한 자극으로 인해 혈관 생성이 촉진되어 육아조직의 형성이 폭발적으로 증가한다.^{5,6)} 특히 간헐적 NPWT의 경우 혈류가 상처 가장자리에서 감소했다가 음압이 걸리지 않은 상태일 때 혈류가 즉시 증가하는 것으로 보아 NO 분비와 국소적인 혈관 이완 때문에 혈류가 증가하는 것으로 보인다.^{7,8)} 혈류의 증가 정도는 적용되는 압력, 가장자리와의 거리, 조직의 종류에 따라 결정된다.⁶⁾

상처에 부종이 생기면 혈류를 지연시키고 산소와 영양분의 확산 거리를 증가시킨다. NPWT는 조직압을 증가시키고 상처에서 나오는 혈액이나 삼출물을 배출하여 부종을 억제하고 혈류를 원활히 하여 상처 치유에 도움을 준다.³⁾ 또한 NPWT에 의해 발생한 압력이 물리적으로 압박붕대와 비슷한 역할을 하여 부종을 억제하는 효과도 있다.⁵⁾

체액의 배출이 거의 없는데도 육아조직의 폭발적인 성장이 있는 경우에는 소변형이 작용하는 것으로 보인다. 다공성의

폼이 상처를 덮어 버팀목 역할을 해주는 상태에서 음압을 걸면 세포의 모양이 변형되어 세포 분화와 성장을 촉진한다.^{9,10)}

대변형(macrodeformation)은 소변형에 비해 큰 구조물의 변화이고 음압 드레싱에 의한 구심력으로 상처 크기가 전반적으로 감소하는 과정이다. 이 과정은 주변 피부의 변형 가능 정도에 따라 그 효과가 결정된다.^{2,10)}

NPWT에서는 폐쇄 또는 반-폐쇄 드레싱으로 상처를 덮고 폼을 사용하여 상처를 밀폐하여 수분 증발이나 열 손실을 줄여준다. 발생하는 압력으로 상처를 고정하는 효과 역시 상처 치유에 도움이 된다.^{1,8)}

NPWT의 종류

우선 NPWT에서 이용하는 경계면 소재의 종류로 구분할 수 있다. 경계면 소재의 종류로 폼과 거즈가 있고 이러한 다공성의 재질을 사용하여 상처 부위에 골고루 음압을 분산시켜 소변형을 가능하게 한다.²⁾ 젖어있는 거즈로 상처를 채우는 방법과 폼을 상처 모양에 맞게 잘라 상처에 넣는 방법이 있고 특히 폼은 폴리우레탄 재질의 검은색 폼과 구멍의 크기가 더 작은 폴리비닐알콜 재질의 흰색 폼이 있어 육아조직의 성장 속도에 따라 다양하게 사용한다.³⁾

두 번째는 상처의 종류에 따라 열린 상처(open wound)에 직접 시행하는 표준 방식과 상처를 절개하여 시행하는 절개 방식(incisional NPWT, iNPWT)이 있다.²⁾ 표준 방식은 앞에서 말한 NPWT의 일반적 사용법에 나와있듯이 상처 내에 폼을 넣고 음압을 걸어주는 방식이고 iNPWT는 NPWT를 예방적으로 닫힌 상처에 사용하는 방식으로 수술적으로 절개한 후 일차적으로 봉합한 상처 위로 폼을 덮고 음압을 걸어주는 방식이다. 이 방식은 일차 봉합을 하지 않고 열린 상처에 시행하는 표준 방식과 달리 일차 봉합한 상처, 특히 사강(dead space)이 넓은 상처의 드레싱 교환 주기를 늘리고 감염 예방과 빠른 회복을 위해 예방적으로 NPWT를 사용한다는 차이점이 있다.¹¹⁾

그 외에 비교적 최근에 개발된 항생제나 식염수를 이용하여 세척할 수 있는 점적 주입 방식(NPWT with instillation, NPWTi)이 있다. 국소적인 상처 세척은 오염된 상처 부위를 깨끗하게 하고 죽은 조직과 삼출물을 제거하며 미생물을 제거하는 역할을 한다. 기존의 NPWT로도 상처의 감염을 줄인다는 보고가 있지만 NPWTi는 항생제를 상처에 적용할 수 있어 기존의 NPWT에 비해 오염되거나 감염된 상처를 다루는데 적합하다.^{12,13)}

NPWT의 임상적 적용

NPWT를 임상적으로 적용하는 창상의 종류는 기간과 해부학적 위치로 분류할 수 있다. 우선 창상의 유형은 기간에 따라 1.1 급성 창상과 1.2 만성 창상으로 구분할 수 있다. 급성 창상은 피부와 그 아래 조직의 통합성이 파괴된 상태로 4주 이내에 정상적인 치유과정을 진행하는 상처를 의미한다. 만성 창상은 정상적인 치유과정을 거쳐 일정 기간 경과 후에도 치유되지 않는 창상을 의미하며 그 기간은 문헌에 따라 4주에서 3개월까지 다양하다. 급성 창상에는 외상이나 터진 수술 창상, 피판이나 피부 이식 등이 있고 만성 창상에는 압박 궤양, 당뇨 궤양, 혈관성 궤양이 있다.¹⁴⁾ 또한 창상의 해부학적 위치에 따라 2.1 흉부, 2.2 복부, 2.3 회음부, 2.4 사지 등으로 구분할 수 있다. 지금부터 창상의 종류에 따라 적용되는 NPWT에 대해 알아보려고 한다.

1.1 급성 창상(Acute wounds)

결합조직을 포함한 거대한 연조직 손상, 오염된 상처, 혈종, 총상 등의 급성 창상의 치료법으로도 NPWT가 널리 받아들여지고 있다. 우선 급성 창상은 피사조직과 이물을 제거하고 지혈을 한 후 주 혈관, 내장, 신경 등 중요한 기관을 우선 근육이나 연조직을 이용하여 덮는다. 그 위로 NPWT를 이용하여 상처를 덮고 드레싱은 적당한 간격으로 시행한다. 다만 확실히 오염이 의심되거나 패혈증 징후가 보이는 경우 24시간 간격으로 드레싱을 해야 하고 적절한 항생제를 사용해야 한다. 급성 창상에서 NPWT를 사용하는 것은 창상의 치료뿐만 아니라 안전하게 수술적 치료로 이행할 수 있도록 돕는 다리 역할도 수행한다.³⁾

1.2 만성 창상(Chronic wounds)

초기에 NPWT가 개발되었을 때 만성 창상 환자를 병원 밖에서 간단하게 효과적으로 치료하는 걸 목표로 하였다.¹⁾ 과거에는 압박 궤양, 장기간 벌어진 상처, 정맥 울혈 궤양, 혈관성 궤양, 당뇨 궤양 등의 만성 창상 환자는 오랜 기간 입원하고 수많은 치료를 받아야 했다. 하지만 NPWT를 이용하면 재건 수술을 받기에 부적합한 환자를 대상으로 만성 창상이 안정화되거나 동반 질환이 조절 가능한 상태가 될 때까지 입원 기간을 줄여주고 절감된 비용으로 창상을 관리할 수 있어 환자의 삶의 질이 높아진다.^{3,15)}

우선 NPWT에 대한 반응도를 높이기 위해 만성 창상의 피사조직을 모두 수술적으로 제거한 후 시행해야 한다. NPWT를 시행한 환자에서 창상이 안정적으로 관리될 경우 피부 이

식이나 피판, 생체재료 등을 이용한 재건술을 선택적으로 시행할 수 있다.³⁾

만성 창상의 종류 중 하나인 압박 궤양은 지속적인 압박과 조직의 허혈로 인해 발생한다. 깊은 조직 손상에서 적절히 죽은 조직을 제거하고 나면 피판 수술 전 상처의 일차 치유를 위해 NPWT를 시행한다.¹⁴⁾ 삼출물 배액을 통해 균의 성장을 억제하고 육아조직 형성을 늘린다. 큰 상처의 경우 NPWT를 이용해 상처를 수축시켜 수술 부위를 줄일 수 있다.¹⁾

당뇨 발은 당뇨 환자의 평생에 걸쳐 10~25%에서 발생한다. 당뇨 환자가 입원하는 이유 중 하나로 외상 외의 이유로 하지 절단을 하는 경우의 많은 부분을 차지한다.¹⁶⁾ 당뇨 발을 치료하는 표준 방법은 혈당 조절과 감염 관리, 죽은 조직 제거와 드레싱이 있다. 드레싱으로 NPWT를 시행하면 2~3일 간격으로 드레싱을 교체할 수 있어 입원하지 않고 관리할 수 있고 보습 거즈 드레싱보다 상처의 깊이와 부피를 효과적으로 줄여준다는 결과가 있다.¹⁷⁾ NPWT를 적용하기 위해서는 죽은 조직 제거와 전신 항생제 치료가 필요하다. 뼈와 근육을 덮는 깨끗한 육아조직상(granulating bed)이 형성될 때까지 NPWT를 시행한 후 피부 이식이나 피판을 이용하여 상처를 덮어준다.

2.1 흉부 창상(chest wounds)

심장 수술 시 정중복장뼈절개술(median sternotomy) 후의 사망률, 입원 기간, 비용에 주된 영향을 미치는 것이 복장뼈 창상 합병증이다.¹⁾ 합병증 중 가장 위험한 것이 복장뼈 감염, 복장뼈 불안정, 세로칸염(mediastinitis)이 있다. 흉부 창상에서 표준 치료방법은 죽은 조직을 제거한 후 근육피부판(myocutaneous flap)으로 창상을 덮는 것이다. 하지만 근육피부판을 이용한 재건술을 견디지 못하고 이차적인 합병증이 발생하거나 사망하는 경우가 드물지 않다.

현재 흉부 창상의 합병증을 줄이기 위해 죽은 조직을 제거한 후 재건술을 시행하기 전 일차적으로 NPWT를 시행한다. NPWT를 통해 얇은 감염에서도 피부를 열어놓을 수 있게 되었고 부목 고정을 시행한 상태에서 배액이 가능하여 배액과 흉벽 안정화가 동시에 가능해졌다.³⁾ 또한 창상의 밀폐가 가능하여 오염방지나 습윤한 환경 조성을 하기에 적합하고 육아조직 성장을 촉진하고 혈류를 증가시킬 수 있다. 추가로 환자의 통증을 초래하는 드레싱 교환의 간격을 늘리는 것도 장점 중 하나이다. 깊은 복장뼈 창상에서는 몇 일간 NPWT를 시행한 후 연조직 피판으로 덮어준다. 이 경우 NPWT를 시행하지 않은 경우보다 피판이 필요한 부위의 크기, 재감염률, 입원 기간, 사망률이 감소했다.¹⁾ NPWT를 시행하는 동안은 환자의

상태가 안정될 경우 퇴원 후 관리가 가능하고 혈청 C-반응 단백질(C-reactive protein, CRP)이 감소하면 닫는 것을 시도할 수 있다. 단, 정맥 이식편이나 동맥 문합 부위에 바로 스펀지를 대는 것은 피해야 한다. 이런 경우 근육 피판을 문합 부위에 대준 후 그 위에 스펀지를 대는 방법을 사용한다.³⁾

2.2 복벽 손상(abdominal wall defects)

복벽 손상은 크게 전층 결함(full-thickness defects)과 부분층 결함(partial-thickness defects)으로 나눌 수 있다.³⁾

전층 결함은 복벽 전체 층이 사라져 복강이 닫히지 않고 장기가 노출된 경우를 의미한다. 복부 외상, 복막염, 동맥류 파열 복구, 복부 구획 증후군 등에서 시행한 개복술 후에 손상이 발생한 경우 심장, 호흡기, 신장의 합병증 위험 때문에 복벽을 일찍 닫기 어려울 수 있다. 이런 경우 감염 예방, 삼출물 관리, 장기 부종 감소가 우선적으로 필요하고 완전히 닫기 전까지 여러 번의 세척과 재탐색이 필요하다. 이 과정에서 세척, 괴사 조직 제거, 장 절제를 시행하고 완전히 닫기 전까지 NPWT를 시행할 수 있다.¹⁾ NPWT를 이용하여 복부를 열어둔 상태로 장기 부종을 줄이고 복강 내부 삼출물과 오염을 제거할 수 있다. 부종과 삼출물이 사라지면 장기가 복강 내로 다시 들어갈 수 있어 일차 복부 봉합이 가능해진다.³⁾ NPWT를 복벽 손상에 이용한 경우 사망률을 줄이고 집중치료실 입원 기간이 감소한다는 연구 결과도 있다.¹⁸⁾

부분층 결함은 복벽 구조물 일부가 사라졌지만 손상되지 않은 한층, 일반적으로 복막이 얇게 존재하여 복강 내 구조물을 유지하고 있다. 이 경우 NPWT를 이용하면 창상을 수축시켜 더 작은 피판이나 그물(mesh)을 사용하여 덮을 수 있게 된다. 그물을 덮고 그 위에 NPWT를 사용하면 육아조직의 형성이 빨라져 창상 치유에 도움이 된다.^{1,3)}

2.3 회음부(Perineum)

NPWT는 드레싱을 바꾸는 것이 어렵고 오염되기 쉬운 부위인 회음부, 비뇨생식기계 창상에서도 효과가 좋다.¹⁹⁾ 감염된 모소낭(pilonidal sinus), 골반내용물적출술(pelvic exenteration)과 같은 만성적인 열린 창상이나 서혜부의 장골서혜림프절절제술(ilioinguinal dissection)의 합병증 등에서 NPWT를 이용할 수 있다. 해부학적 구조 때문에 창상의 밀폐가 힘들어 치료가 어려운 부위임에도 불구하고 높은 확률로 봉합할 수 있다. NPWT를 하기 전에 서혜부의 혈관 문합 위로 넓다리빗근(sartorius muscle)이나 넓다리곧은근(rectus femoris muscle) 피판을 사용하면 생착이 잘 된다.³⁾

2.4 사지 손상(Extremities trauma)

사지는 빠른 속도에 의한 손상으로 연조직, 뼈, 혈관 손상을 동반한다. 이전에는 죽은 조직 제거, 정형외과적 고정 및 적절한 피판을 이용해 노출된 뼈와 혈관을 덮는 응급 수술을 시행했다. 빠르게 상처를 덮기 위해서 죽은 조직을 제거할 때 공격적이고 범위가 넓어서 큰 상처가 생길 수 있으므로 적절한 피판으로 덮는 것이 어려울 수 있다.

NPWT를 이용하면 혈종을 줄이고, 연조직을 치유하면서 노출된 뼈를 덮을 수 있다. 오직 죽은 연조직이나 뼈 조직만 제거하고 NPWT를 울혈 구역(zone of stasis)의 연조직 위로 시행한다. 밀폐되고 습윤한 환경을 유지한 상태로 부종이 사라지고 혈류가 증가하면 조직이 다시 살아날 가능성이 증가한다. 음압으로 인해 살아있는 조직과 새로 생겨나는 육아조직이 상처를 채우면서 상처의 크기가 감소하고 뼈의 건조를 막을 수 있다. 골절 부위에서 나오는 혈액과 삼출물을 제거하여 추가적인 감염을 최소화해준다. 건, 관절, 뼈가 노출된 하지 상처의 경우 NPWT를 이용하여 외부고정장치와 육아조직으로 우선 덮은 후 나중에 피부나 피판 이식을 할 수 있다.³⁾

구획 증후군(compartment syndrome)일 때도 수술 부위에 NPWT를 이용하여 부종을 줄이고 육아조직 생성을 촉진하여 근막절개술(fasciotomy)을 시행한 부위를 열어놓는 시간을 줄일 수 있다.¹⁾

NPWT의 합병증 및 주의점

NPWT를 시행한 환자에서 발생한 합병증 중 대부분은 출혈과 감염이다.¹¹⁾ NPWT는 노출된 혈관구조, 신경, 문합 부위 또는 장기에 하는 것은 금기이고 항응고치료를 받는 환자에게는 출혈의 위험이 크므로 매우 주의해서 사용해야 한다. 흡인 펌프로 벽 흡입관을 이용한 경우 심한 출혈이 발생했다는 보고가 있다.³⁾ 잘못된 흡인 펌프를 이용할 경우 공기가 새는 것을 감지할 수 없어 상처의 건조와 감염, 출혈 등의 문제가 발생할 수 있기 때문이다. 특히 폼을 이용한 방법은 지혈보다는 혈액을 제거하는데 충실한 방법이므로 과도한 출혈이 있을 때 알람이 가능한 기계를 사용해야 하고 전통적인 거즈 드레싱을 NPWT에 앞서 몇 시간 동안 사용하여 과도한 출혈을 방지할 수도 있다.

감염 위험이 있는 환자는 출혈 합병증이나 난치성 감염으로 발전할 수 있으므로 주의해야 하고 현재 감염이 있는 창상에는 NPWT를 사용하지 말아야 한다. 감염 환자에서는 죽은 조직이 적절히 제거된 상태에서 NPWT를 시행하고 만약

고름삼출물이 나온다면 감염 악화나 패혈증을 피하기 위해 NPWT를 멈추어야 한다.¹⁾

그 외에 정상조직에서는 모세혈관압이 10~35 mmHg 사이라서 NPWT가 모세혈관 폐쇄(capillary occlusion)를 일으키지 않으나 관류 저항(compromised perfusion)이 심한 조직에서는 10 mmHg 이하의 모세혈관압을 가져 모세혈관 폐쇄와 조직 괴사가 일어날 수 있다.⁵⁾ 또한 창상에 이물이 들어가는 치료이고 배액이 잘 안되는 경우 독성쇼크증후군이 발생할 수 있으므로 환자를 주기적으로 잘 관찰해야 한다. 스펀지 일부가 창상 내에서 사라져 다른 곳에서 육아조직을 형성하면서 창상 치유 부작용이 발생할 수 있고 특히 사라진 스펀지의 크기가 클수록 해로울 수 있으므로 항상 스펀지의 수를 기록하여 드레싱 교환 중에 사라지는 것을 방지해야 한다.³⁾

NPWT는 널리 이용되는 방법임에도 부작용이 매우 적다는 것은 고무적이지만 다른 수술 도구와 마찬가지로 발생 가능성이 있는 부작용에 대처할 수 있는 훈련된 전문가가 사용해야 한다.

요 약

NPWT는 90년대 이후 많은 연구가 이루어지며 발전해왔다. 이 기술은 사용하기에 간단하고 다양한 상처에 적용할 수 있고 효용성과 비용-효과가 뛰어나며 부작용이 적다. 따라서 NPWT를 일반적인 드레싱 대신에 사용하면 육아조직의 빠른 성장과 상처 수축을 통해 피부 이식이나 피판이 필요한 부위를 줄일 수 있고 봉합이 불가했던 부위를 가능하게 하므로 창상 환자에 대한 의료 비용을 감소시키고 만성 창상 환자가 입원하지 않고 움직이면서 창상 관리가 가능하도록 할 수 있는 유용한 방법이다.

REFERENCES

1. Orgill DP, Bayer LR. Update on negative-pressure wound therapy. *Plast Reconstr Surg* 2011;127(Suppl 1):105S-15S.
2. Anghel EL, Kim PJ. Negative-Pressure Wound Therapy: A Comprehensive Review of the Evidence. *Plast Reconstr Surg* 2016;138(3 Suppl):129S-37S.
3. Argenta LC, Morykwas MJ, Marks MW, DeFranzo AJ, Molnar JA, David LR. Vacuum-assisted closure: state of clinic art. *Plast Reconstr Surg* 2006;117(7 Suppl):127S-42S.
4. Horch RE. Incisional negative pressure wound therapy for high-risk wounds. *J Wound Care* 2015;24(4 Suppl):21-8.
5. Breen E, Tang K, Olfert M, Knapp A, Wagner P. Skeletal muscle capillarity during hypoxia: VEGF and its activation. *High Alt Med Biol* 2008;9:158-66.
6. Kairinos N, Voogd AM, Botha PH, Kotze T, Kahn D, Hudson DA, et al. Negative-pressure wound therapy II: negative-pressure wound therapy and increased perfusion. Just an illusion? *Plast Reconstr Surg* 2009;123:601-12.
7. Wackenfors A, Sjögren J, Gustafsson R, Algotsson L, Ingemansson R, Malmsjö M. Effects of vacuum-assisted closure therapy on inguinal wound edge microvascular blood flow. *Wound Repair Regen* 2004;12:600-6.
8. 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; discussion 599-600.
9. Saxena V, Hwang CW, Huang S, Eichbaum Q, Ingber D, Orgill DP. Vacuum-assisted closure: microdeformations of wounds and cell proliferation. *Plast Reconstr Surg* 2004;114:1086-96; discussion 1097-8.
10. Huang C, Leavitt T, Bayer LR, Orgill DP. Effect of negative pressure wound therapy on wound healing. *Curr Probl Surg* 2014;51:301-31.
11. Petzina R, Malmsjö M, Stamm C, Hetzer R. Major complications during negative pressure wound therapy in poststernotomy mediastinitis after cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2010;140:1133-6.
12. Kim PJ, Attinger CE, Steinberg JS, Evans KK, Lehner B, Willy C, et al. Negative-pressure wound therapy with instillation: international consensus guidelines. *Plast Reconstr Surg* 2013;132:1569-79.
13. Kim PJ, Attinger CE, Steinberg JS, Evans KK, Powers KA, Hung RW, et al. The impact of negative-pressure wound therapy with instillation compared with standard negative-pressure wound therapy: a retrospective, historical, cohort, controlled study. *Plast Reconstr Surg* 2014;133:709-16.
14. Mustoe TA, O'Shaughnessy K, Kloeters O. Chronic wound pathogenesis and current treatment strategies: a unifying hypothesis. *Plast Reconstr Surg* 2006;117(7 Suppl):35S-41S.
15. Philbeck TE Jr, Whittington KT, Millsap MH, Briones RB, Wight DG, Schroeder WJ. The clinical and cost effectiveness of externally applied negative pressure wound therapy in the treatment of wounds in home healthcare Medicare patients. *Ostomy Wound Manage* 1999;45:41-50.
16. Zhang J, Hu ZC, Chen D, Guo D, Zhu JY, Tang B. Effectiveness and safety of negative-pressure wound therapy for diabetic foot ulcers: a meta-analysis. *Plast Reconstr Surg* 2014;134:141-51.
17. Eginton MT, Brown KR, Seabrook GR, Towne JB, Cambria RA. A prospective randomized evaluation of negative-pressure wound dressings for diabetic foot wounds. *Ann Vasc Surg* 2003;17:645-9.

18. Cirocchi R, Birindelli A, Biffi WL, Mutafchiyski V, Popivanov G, Chiara O, et al. What is the effectiveness of the negative pressure wound therapy (NPWT) in patients treated with open abdomen technique? A systematic review and meta-analysis. *J Trauma Acute Care Surg* 2016;81:575-84.
19. Monsen C, Acosta S, Mani K, Wann-Hansson C. A randomised study of NPWT closure versus alginate dressings in peri-vascular groin infections: quality of life, pain and cost. *J Wound Care* 2015;24:252-260.