

Ultraviolet-C 조사의 살균 효과

최홍식
한서대학교 물리치료학과
최규환
안산1대학 물리치료과
박소연
연세대학교 대학원 재활학과

Abstract

The Effect of Ultraviolet-C Radiation on Disinfection

Choi Hong-sik, Ph.D., P.T.

Dept. of Physical Therapy, Hanseo University

Choi Kyu-hwan, M.P.H., P.T.

Dept. of Physical Therapy, Ansan 1 College

Park So-yeon, M.Sc., P.T.

Dept. of Rehabilitation Therapy, The Graduate School, Yonsei University

Traditionally, ultraviolet (UV) has been used for treating the pressure sore and skin wound. The effects of UVA and UVB radiation on disinfection have been reported. The purpose of this study was to examine the effectiveness of UVC radiation on disinfection of *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium* in vitro. Three bacterium were radiated by UVC (250 nm, 20 seconds) and incubated at 37°C for 24 hours at the agar culture medium. Kill rates of all three bacterium were 99.9%. UVC radiated on three kinds of bacterium for 30 or 60 seconds. Kill rates were 99.9% both 30 and 60 seconds. This data suggests that UV light at 250 nm could be a useful method to minimize infection and shorten healing time in pressure sore and skin wound condition.

Key Words: *Escherichia coli*; Pressure sore; *Salmonella typhimurium*; *Staphylococcus aureus*; Ultraviolet C.

I. 서론

일반적으로 자외선(UV)은 전자기 광선으로써 전자기 스펙트럼상의 가시광선과 X-광선 사이의 파장이 390~136 nm를 가진 전자기파를 말한다. 치료적 목적으로 쓰이는 자외선은 390~185 nm의 파장을 사용하며, 자외선

이 피부에 흡수될 때 발생하는 생화학적 효과가 치료에 사용된다. 자외선은 파장의 길이에 따라 UVA, UVB, UVC로 분류된다. UVA는 파장이 320~390 nm의 긴파장 자외선을 말하고, UVB는 260~320 nm 파장, UVC는 100~260 nm의 짧은 파장을 말한다(함용운, 1995). 자외선은 피부에 흡수되어 흥

반 반응(erythema reaction), 피부의 각질화(heperplasia), 박리(desquamation), 색소침착(pigmentation), 무생광선(abiotic rays) 효과, 비타민 D 생성, 감염에 대한 저항력 증가, 상피세포의 성장, 살균, 식욕 및 수면 향상, 신경과민이나 흥분 감소 효과 등의 다양한 생리적 효과를 보인다(함용운, 1995). 이러한 목적을 가지고 물리치료 분야에서도 다양한 질병의 환자에게 자외선 치료를 사용하고 있는데, 그 중에서도 척수손상 환자에서 발생한 욕창이나 초기 욕창 방지를 위한 방법으로 자외선을 조사하거나 치료의 목적으로 적용한다.

욕창(pressure sores)은 척수손상, 뇌졸중, 당뇨병, 말초신경계 질환 등 다양한 질병을 가진 환자에게 나타나는 합병증이다. 특히 척수손상 환자에게서는 약 44 % 정도가 발생하고, 사망원인의 약 8%를 차지할 정도로 흔한 질환이다. 욕창은 발병하면 치료를 위해 입원 기간이 길어지고, 일차적으로 욕창부위에 압력을 제거하여야 하므로 다른 재활 치료에 적극적으로 참여할 수 없게 되어 재활을 더디게 하는 장애 요인이 된다(민경옥과 박래준, 1989). 욕창은 통계청이 분류한 사망원인 중 하나로 우리나라의 경우 욕창성 궤양으로 사망한 수는 연간 312명으로 밝혀졌다(통계청, 2000). 욕창 발병의 직접적인 원인은 뼈의 돌출부와 연부조직 사이에 가해지는 지속적인 압박이다. 이 지속적인 압박은 혈액순환을 방해하여 결과적으로 압박당한 조직에 산소결핍증(anoxia)이나 혈전증 등을 유도하여 조직 괴사가 발생하여 욕창으로 발전된다. 직접적인 원인인 압박 이외에도 욕창을 일으키는 다른 요인들로는 단백질 식이 부족 등의 영양불량이나 연부조직의 타박상, 피부의 침연(maceration), 피부의 심한 마찰로 인한 손상, 조절되지 않는 경련 등이 있는데 이때 2차적 감염이 되면 이들 진행과정을 더욱 악화시킨다. 감염은 외적 처치가 부적절

했을 때 흔히 발생하며 점액낭 등을 침범하여 심각한 계통적 질환으로 발전된다. 욕창부위를 흔히 침범하는 병원균에는 황색 포도상구균(*Staphylococcus aureus*), 백색 포도상구균(*Staphylococcus albus*), 화동성 연쇄상구균(*Streptococcus pyogenes*), 대장균(*Escherichia coli*), 녹농균(*Pseudomonas aeruginosa*), 심상변형균(*Proteus uvlgaris*), 폐렴간균(*Klebsiella pneumonia*) 등이 있다(민경옥과 박래준, 1989; Donald와 Isobel, 1989).

욕창을 치료하는 방법으로는 일반적으로 궤양이 생긴 부위에 가해지는 압박을 완전히 제거하는 것을 원칙으로 하며, 적절한 고 단백질 식이를 통하여 단백질 공급을 증가시켜 질소대사에 균형을 유지하도록 하여 상처부위의 조직 재생을 돕고, 손상부위의 부종을 감소시키고, 궤양부위를 다양한 방법으로 소독하고, 괴사조직을 제거하고, 피부를 이식하는 등의 수술적 치료방법 등이 있다. 물리치료 분야에서 사용하는 치료 방법으로는 전기 자극 치료(electrical stimulation therapy), 적외선조사(infrared radiation), 초음파치료(ultrasound), 자외선 조사(ultraviolet radiation; UV)등이 있다(Houghton과 Campbell, 1999; Kloth, 1995; Nussbaum 등, 1994).

치료적으로 자외선을 조사하는 경우에는 전신에 조사하는 방법과 국소적으로 조사하는 방법이 사용되고 있는데 이중 욕창의 치료에는 국소적 조사법이 사용된다. 자외선 국소 조사의 치료적 효과로는 피부에 대한 혈액 공급의 증가, 세균파괴, 상피세포의 성장 촉진, 피부 감염에 대한 저항력 증가, 피부박리, 피부에 존재하는 박테리아 파괴 등의 목적이 등이 있으며, 욕창 초기에 더 이상의 진행을 막기 위해서도 사용되고 있다.

물리치료 분야에서 욕창을 치료하기 위한 자외선 조사 방법에 관한 연구를 살펴보면, 대부분 자외선 A(ultraviolet A: UVA)와 자외선 B(ultraviolet B) 파장을 사용하였다. 자

외선을 조사함으로써 상처부위의 살균과 딱지(slough) 제거, 육아세포(granulation tissue)의 생성촉진, 표피(epidermal) 생성이 활성화된다. High와 High(1983)는 UVA가 육아세포의 생성을 촉진하는데 유의하게 도움을 준다고 하였으나 UVB의 효과에 대해서는 입증하지 못했다. Batouty 등(1986)은 UVC를 동물의 상처조직에 조사하여 유의한 치료효과가 보였다고 했다. Wills 등(1983)은 자외선이 욕창의 치료에 도움을 주는지 알아보기 위해서 치료군과 자외선 치료를 적용하지 않은 대조군으로 나누어 보았을 때, 욕창이 완전히 치유된 평균 시간은 치료군은 6.3주, 대조군은 8.4주였다. 그 동안 연구에서는 여러 파장의 자외선을 욕창부위에 적용하여 기존의 치료방법과 비교하거나 그의 효과에 대한 연구는 있었지만, UVC가 욕창의 발생에 이차적인 원인이 되는 감염균에 미치는 효과에 대한 연구는 거의 없었다. 따라서 이 연구에서는 욕창부위에 흔하게 감염되는 균 중에서 *Escherichia coli* (ATCC 8739)와 *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538), *Salmonella typhimurium* (KCTC 1925)을 배양하고 이에 UVC(250 nm)를 조사하여 살균에 미치는 효과를 보고자 하였다.

II. 연구방법

1. UVC 조사 후 24시간 배양

미리 배양한 *Escherichia coli* (ATCC 8739), *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538), *Salmonella typhimurium* (KCTC 1925)의 균주를 일정 농도로 희석하여 표준한 천평판 배지에 도말하였다. 대조군은 도말 직후 UVC(250 nm)를 조사시키지 않은 상태로 37℃에서 24시간 동안 배양하였다. 시험군은 UVC를 20초간 조사한 후 대조군과 같은 상태인 37℃에서 24시간 동안 배양하였다. 생균수는 평판도말법으로 측정하였고, 살균력은

아래의 공식에 따라 백분율로 나타내었다. 실험 전과정은 한국생활용품시험연구원에 의뢰하여 실시하였다.

$$\text{살균력(\%)} = \frac{\text{대조군의 잔존 생균수} - \text{시험군의 잔존 생균수}}{\text{대조군의 잔존 생균수}} \times 100$$

2. UVC 30초, 1분간 조사

전 배양한 *Escherichia coli* (ATCC 8739), *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538), *Salmonella typhimurium* (KCTC 1925)의 균주를 비이온 계면 활성제 TWEEN 80(.05%)에 각각 $1.4 \pm 3 \times 10^5/\text{ml}$, $1.2 \pm .3 \times 10^5/\text{ml}$, $1.5 \pm .3 \times 10^5/\text{ml}$ 농도로 접종하였다. 대조군은 아무 처치를 하지 않았으며, 시험군은 UVC를 30초, 1분간 조사한 후 살균력을 측정하였다. 살균력은 실험 1과 같은 공식에 따라 백분율로 나타내었다. 실험 전 과정은 한국원사직물시험연구원 내 "한국소비과학연구센터"에 의뢰하여 실시하였다.

III. 결과

1. UVC 조사 후 24시간 배양

가. *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538) 균주

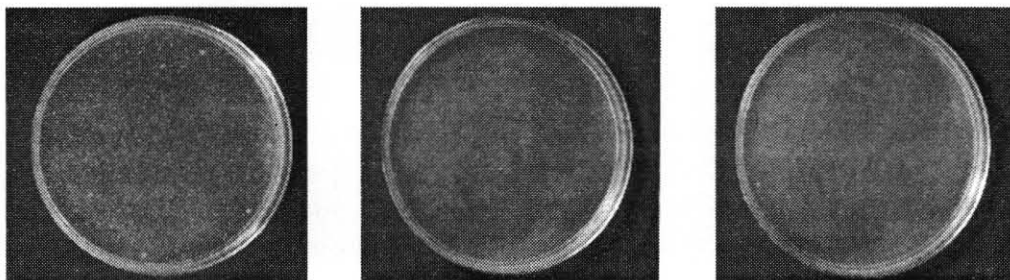
Staphylococcus aureus (ATCC 6538)의 경우에 대조군의 잔존생존수는 1.3×10^6 (CFU/plate)이었고, 시험군은 6(CFU/plate)으로 살균력은 99.99%를 보였다.

나. *Escherichia coli* (ATCC 8739) 균주

Escherichia coli (ATCC 8739) 균주 실험에서 대조군의 잔존생존수는 1.4×10^6 (CFU/plate)이었고, 시험군은 6(CFU/plate)으로 살균력은 99.99%를 보였다.

표 1. UVC 조사 30초 후, 1분 후 세균감소율

		대조군(세균수)	실험군(세균수)	세균감소율(%)
Escherichia coli (ATCC 8739)	초기 균수	$1.4 \times 10^9 / \text{ml}$	$1.4 \times 10^9 / \text{ml}$	-
	30초 조사 후	$1.4 \times 10^5 / \text{ml}$	< 10	99.9
	1분 조사 후	$1.4 \times 10^5 / \text{ml}$	< 10	99.9
Staphylococcus aureus (ATCC 6538)	초기 균수	$1.2 \times 10^9 / \text{ml}$	$1.2 \times 10^9 / \text{ml}$	-
	30초 조사 후	$1.2 \times 10^5 / \text{ml}$	<10	99.9
	1분 조사 후	$1.2 \times 10^5 / \text{ml}$	<10	99.9
Salmonella typhimurium (KCTC 1925)	초기 균수	$1.5 \times 10^9 / \text{ml}$	$1.5 \times 10^9 / \text{ml}$	-
	30초 조사 후	$1.6 \times 10^5 / \text{ml}$	<10	99.9
	1분 조사 후	$1.6 \times 10^5 / \text{ml}$	<10	99.9



a. UVC 조사 전 b. UVC 30초 조사 후 c. UVC 60초 후

그림 1. Escherichia coli의 조사 전(a) UVC 30초 조사 후(b) 60초 조사 후(c)

다. Salmonella typhimurium (KCTC 1925) 균주

Salmonella typhimurium (KCTC 1925) 균주 실험에서 대조군의 잔존생존수는 1.7×10^5 (CFU/plate)이었고, 시험군은 2(CFU/plate)로 살균력은 99.99 %를 보였다.

2. UVC 30초, 1분간 조사 후 세균수 감소율

Escherichia coli (ATCC 8739), Staphylococcus aureus (ATCC 6538), Salmonella typhimurium (KCTC 1925)의 대조군의 세균수, UVC 30초간 조사 후, 1분간 조사 후의 세균수와 살균력의 결과는 표 1과 같다(그림 1).

IV. 고찰

미생물의 살균은 의학이나 산업미생물 분야에서뿐만 아니라 환경공학적인 측면에서도 매우 중요한 과정이다. 살균은 열, 약품, 방사선, 오존, 자외선을 이용한 방법 등을 이용하며 각각의 장단점을 지니고 있다. 이 중에서 자외선에 의한 살균은 세균의 종류에 따라 다소 다르지만 파장 250~260 nm 부근, 즉 핵산이 자외선을 흡수하는 파장에서 살균효과가 가장 크다. 자외선 조사의 결과로 나타나는 살균은 미생물 내의 핵산 성분이 화학변화를 일으켜 대사 장애를 가져와 증식능력을 잃게 됨으로써 이루어진다. 이 실험에서는 욕창 등의 상처 감염의 원인균인 Escherichia coli (ATCC 8739), Staphylococcus aureus

(ATCC 6538), *Salmonella typhimurium* (KCTC 1925)에 UVC를 조사한 후 24시간 배양을 하여 살균력을 비교하고, 각각의 균에 자외선을 30초간과 1분간 조사한 후의 세균수를 조사하여 살균력을 비교해 보았을 때 대조군에 비하여 각각 99.9%의 높은 살균효과를 보였다.

재활과정에서 욕창을 예방하는 것은 치료를 적극적으로 참여하게 하여 치료 기간을 단축시키고, 의료비의 감소를 위해 중요하다. 일단 욕창이 발병하게 되면 환자에게 알맞은 적절한 치료방법을 모색하는 것이 중요하다. 욕창부위의 치료방법으로 일차적으로 궤양이 생긴 부위에 가해지는 압박을 완전히 제거하는 것을 원칙으로 하며, 적절한 고단백 식이를 통하여 단백질 공급을 증가시켜 질소대사에 균형을 유지하도록 하여 상처부위 조직 재생을 돕고, 손상부위의 부종을 감소시키고, 궤양부위를 다양한 방법으로 소독하고, 괴사 조직을 제거하고, 피부 이식 등의 수술적 치료 방법 등이 있다(민경옥과 박래준, 1989). 다양한 치료 방법 중 UV를 조사하여 상처의 치유 효과를 본 물리치료 분야의 연구를 살펴보면, 대부분 UVA나 UVB 조사의 효과를 본 것이었다(Freytes 등, 1985). 자외선을 조사하여 상처 살균, 상처 조직(slough)의 제거, 육아세포의 활성화, 표피조직의 성장 등의 효과를 증명했다(Freytes 등, 1985). 척수손상 환자의 욕창 치료를 위해 일반적으로 소독 등의 상처 처치방법을 적용한 군, 상처 처치방법과 함께 레이저 치료의 효과를 본 군과 상처 처치 방법과 함께 초음파 치료와 UVC 치료를 동시에 적용한 군을 14일 동안 비교해 보았을 때 초음파 치료와 UVC를 동시에 적용한 군에서 유의하게 욕창의 크기가 줄어들었고, 욕창이 치유되는 데 걸린 시간이 감소하였다고 하였다(Nussbaum 등, 1994). 다양한 연구 결과에서 볼 수 있듯이 욕창 등의 상처에 자외선 조사는 것은 표피 조직의 생

성을 빠르게 하고(Sams, 1974), 프로스타그란딘 전구체(prostaglandin precursor)를 유리하여 흥반과 세포의 증식(proliferation)을 증대하고(Eaglstein과 Weinstein, 1976), 히스타민(histamine)을 유리하여 피부의 혈류량을 증진시키고(Ramsay와 Challoner, 1976), 혈관의 투과성(permeability)을 증진시켜 노폐물 이동을 증가시키고, DNA 합성을 가속화시키고, 박테리아 등을 살균시키도록 사용되었다(High와 High, 1983). 이 중 UVC 조사는 다른 파장에 비해 DNA 합성시 영향을 적게주나, 세균 등을 살균하는 데는 UVC의 파장에 속하는 250 nm가 가장 효과적이라고 하였다. 이 250 nm의 파장에서 조사했을 때는 표피에서 90% 이상 흡수되어 흥반 효과는 거의 보이지 않아서 피부가 검게 타지는(tanning) 않지만, 피부의 혈류량이 최대로 증가하는 것이 증명되었다(Parrish 등, 1982).

일반적으로 자외선을 조사하여 발생하는 생체학적 변화는 파장에 따라 피부 투과도가 다르게 나타나므로, 원하는 효과를 얻기 위해 적절하게 파장을 선택하는 것이 중요하다. 자외선은 장파장(UVA)은 UVB나 UVC에 비해 투과도가 더 크다. 그러나 피부에서 발생하는 효과는 UVB나 UVC의 자외선에서 더 크게 나타난다(박항준 등, 1984; Honigsmann, 1981). 그 동안의 연구에서는 UVA나 UVB의 자외선을 조사했을 때 보이는 반응에 대한 긍정적인 효과에서만 연구가 많았으나, 피부에 투과되는 정도가 커질수록 긍정적인 효과와 더불어 부정적인 효과도 있다. 특히 UVB 중 280~315 nm의 파장에 장시간 조사되었을 경우 면역작용을 억제하여 피부암으로 진행될 수 있다는 연구 결과가 있다(De Gruji, 1997; Termorshuizen 등, 2002).

UVC 조사는 국소적으로 욕창부위의 살균과 혈류량을 증가시키는 등의 치료적 목적이외에도 수술실이나 치료실 내에 설치하여 공기 중의 감염균을 제거하여 상처부위의 감

염을 방지하는 등의 목적으로 사용될 수도 있다(Taylor 등, 1995; Taylor와 Chandler, 1997). Ivan 등(1996)은 수술실 내에 UVC(253.7 nm) 등을 조사하여 심장수술을 하였을 때 9명중 8명에서 상처부위의 공기중 세균 감염율이 현저하게 감소하였다고 발표하였다. Conner-Kerr 등(1998)의 연구에서도 UVC(254 nm)를 Staphylococcus aureus와 Enterococcus faecalis에 조사하였을 때 조사 30초 후에 유의하게 세균의 수가 감소했다고 하였다. 이는 UVC를 상처부위 뿐만 아니라 세균이 감염되기 쉬운 환경에 적용하여 이차 감염을 막을 수 있다는 것을 보여준다.

본 연구에서 실시한 UVC의 조사는 욕창의 원인균 살균에 대한 연구로 자외선 조사 자체가 배양된 균주를 살균하는데 우수하다고 결론을 내렸지만, 이는 생체 조직 자체에 적용된 것이 아닌 실험실 환경임을 감안했을 때, 앞으로의 연구에서는 욕창부위에 직접 자외선 조사를 실시한 후 세균의 살균 여부를 조사하는 것이 필요하리라 생각된다.

V. 결론

욕창부위에 흔히 감염되는 균 중 Staphylococcus aureus (ATCC 6538), Escherichia coli (ATCC 8739), Salmonella typhimurium (KCTC 1925)을 배양하고 이에 UVC(250 nm)를 조사하여 살균력을 알아보았다. UVC 조사 후 24시간 배양하여 실험군과 자외선을 조사하지 않은 대조군을 비교해 보았다. Staphylococcus aureus (ATCC 6538)의 경우에 대조군의 잔존생존수는 1.3×10^6 (CFU/plate)이었고, 실험군은 6(CFU/plate)로 살균력은 99.99%를 보였다. Escherichia coli (ATCC 8739) 균주 실험에서 대조군의 잔존생존수는 1.4×10^6 (CFU/plate)이었고, 실험군은 6(CFU/plate)으로 살균력은 99.99%를 보였다. Salmonella typhimurium (KCTC 1925) 균주 실험에서 대조군의 잔존

생존수는 1.7×10^5 (CFU/plate)이었고, 실험군은 2 (CFU/plate)로 살균력은 99.99%를 보였다. UVC를 각각 Escherichia coli (ATCC 8739), Staphylococcus aureus (ATCC 6538), Salmonella typhimurium (KCTC 1925)에 UVC 조사시 UVC 30초간 조사 후와 1분간 조사 후의 세균수와 살균력의 결과는 각각 99.9%로 높게 나타났다.

인용문헌

- 민경옥, 박래준. 질환별 물리치료. 대학서림, 1989.
- 박항준, 윤재일, 이유신. 적외선 조사가 자외선에 의한 피부반응에 미치는 영향. 재활의학회지. 1984;22(2):176-182.
- 통계청. 2000
- 함용운. 광선치료학. 현문사, 1995.
- Batouty MF, Gindy M, Shawaf L, et al. comparative evaluation of the effects of ultrasonic and ultraviolet irradiation of tissue regeneration. Scand J Rheumatol. 1986;15(4):381-386.
- Conner-Kerr TA, Sullivan PK, Gaillard J, et al. The effects of ultraviolet radiation on antibiotic-resistant bacteria in vitro. Ostomy Wound Manage. 1998;44(10):50-56.
- Donald N, Isobel MA. Common Foot Disorders. Churchill Livingstone, 1989.
- De Gruiji FR. Health effects from solar UV radiation. Radiat Prot Dosim. 1997;72:177-196.
- Eaglanstein W, Weinstein G. Prostaglandin and DNA synthesis in human skin: Possible relationship to ultraviolet light effects. J Invest Dermatol. 1976;64: 386-396.
- Freytes H, Fernandez B, Fleming W.

- Ultraviolet light in the treatment of indolent ulcers. *South Med J.* 1985;2: 223-226.
- High A, High J. Treatment of infected skin wounds using ultra-violet radiation: An in-vitro study. *Physiotherapy.* 1983;69:359-360.
- Honigsmann H. Epidermal reaction to UV light. In the epidermis in disease. 1st ed. JB Lippincott Co., 1981.
- Houghton PE, Campbell KE. Choosing an adjunctive therapy for the treatment of chronic wounds. *Ostomy Wound Manage.* 1999;45(8):43-52.
- Ivan WB, Gordon FM, Brian WH, et al. Toward further reducing wound infections in cardiac operations. *Ann Thorac Surg.* 1996;62:1783-1789.
- Kloth LC. Physical modalities in wound management: UVC, therapeutic heating and electricla stimulation. *Ostomy Wound Manage.* 1995;41(5):18-20.
- Nussbaum EL, Biemann I, Mustard B. Comparison of ultrasound/ultraviolet-C and laser for treatment of pressure ulcers in patients with spinal cord injury. *Phys Ther.* 1994;74(9):812-823.
- Parrish J, Jaenicke K, Anderson R. Erythema and melanogenesis action spectra of normal skin. *Photoche Photobiol.* 1982;36:187-191.
- Ramsay C, Challoner A. Vascular changes in human skin after ultraviolet irradiation. *Br J Dermatol.* 1976;94: 487-493.
- Sams WM. Inflammatory mediators in ultraviolet erythema. *Sunlight and Man.* 1974.
- Taylor GJ, Bannister GC, Leeming JP. Wound disinfection with ultraviolet radiation. *J Hosp Infect.* 1995;30(2): 85-93.
- Taylor GJ, Chandler L. Ultraviolet light in the orthopaedic operating theatre. *Br J Theatre Nurs.* 1997;6(10):10-14.
- Termorshuizen F, Garssen J, Norval M, et al. A review of studies on the effects of ultraviolet irradiation on the resistance to infection: Evidence from rodent infection models and verification by experimental and observational human studies. *International Immunopharmacology.* 2002;2:263-275.
- Wills EE, Anderson TW, Beattie BL, et al. A randomized placebo-controlled trial of ultraviolet light in the treatment of superficial pressure sores. 1983;31(3): 131-133.