



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

1550nm Er:Glass 레이저 조사 시
쿨링 방식에 따른 피부 표면 온도 및
치료효과 분석

연세대학교 대학원

의료기기산업학과

김 현

1550nm Er:Glass 레이저 조사 시 쿨링 방식에 따른 피부 표면 온도 및 치료효과 분석

지도교수 노미령

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2024년 06월

연세대학교 대학원

의료기기산업학과

김 현

김 현의 석사 학위논문으로 인준함

심사위원 노 미래 

심사위원 전 수민 

심사위원 김지희 

연세대학교 대학원

2024년 6월

감사의 글

레이저 의료기기 회사에서 근무를 하며 획기적인 의료기기 개발을 하겠다는 의지를 가지고 의료기기산업학과에 입학 한지 어느덧 2년의 시간이 흘렀습니다. 지난 2년 간 석사과정을 통해 의료기기 개발 프로세스, 의료기기 규제 등 회사에서 배우기 어려운 내용들을 깊게 배울 수 있었고, 그 결과 레이저 의료기기 기획 전문가로 성장하는데 밑거름이 되었습니다.

이 논문을 완성하는 데에 있어서 많은 분들의 도움과 지원이 있었습니다. 우선, 수준 높은 연구와 논문을 작성할 수 있도록 지도해주신 노미령 교수님께 깊은 감사의 말씀을 드리며, 의료기기산업 전문가로 성장하는데 많은 격려와 지도를 해주신 장원석 교수님께 깊이 감사드립니다. 지도 교수님의 인내와 지혜로운 조언 덕분에 논문 작업이 원활하게 진행되었습니다. 또한 학위 과정 동안 항상 저의 열정과 능력을 끌어내기 위해 힘써주신 지도 교수님의 지도 아래에서 공부할 수 있어 영광으로 생각합니다.

또한, 이 연구를 위해 시간과 노력을 함께한 동료들에게도 감사의 인사를 전합니다. 저의 논문에 관심을 가져주고 의견을 공유해준 모든 분들께 진심으로 감사드립니다. 여러분의 피드백과 지지가 제 연구를 더욱 풍성하게 만들어주었습니다.

끝으로 학업에 정진할 수 있도록 배려해주고, 연구를 지원해주 루트로닉 회장님과 동료 직원들에게도 깊은 감사를 드립니다. 저의 성공은 여러분들의 사랑과 지지 덕분이라는 것을 잊지 않겠습니다.

석사 과정을 통해 배운 지식과 경험으로 우리나라 의료기기 산업을 이끌어 갈 수 있는 인재로 성장하도록 더욱 노력하겠습니다. 감사합니다.

김현 올림

차 례

표 차례	ii
그림 차례	iii
국문 요약	v
제1장 서론	1
1.1. 연구 배경	1
1.2. 연구 목적	2
1.3. 연구 범위	2
제2장 재료 및 방법	4
2.1. 연구 대상	4
2.2. 레이저 의료기기 정보	5
2.3. 레이저 조사 프로토콜	5
2.4. 쿨링 방법	6
2.5. 온도 측정	8
2.6. 조직학적 분석	9
제3장 결과	10
3.1. 피부 표면 온도 측정	10
3.2. 조직학적 변화	15
제4장 고찰	25
제5장 결론	27
참고 문헌	28
영문 요약	29

표 차례

<표 1> 레이저 파라미터	6
<표 2> 세부 실험 프로토콜	7
<표 3> 쿨링 조건에 따른 에너지 별 온도 변화	11
<표 4> 그룹1과 온도 상승 비교	13
<표 5> 그룹 별 에너지 증가에 따른 온도 상승 비교	14
<표 6> 쿨링 조건 별 에너지에 따른 조직 necrosis column 깊이 비교 .	16
<표 7> 쿨링 조건 별 에너지에 따른 조직 necrosis column width 비교 .	17
<표 8> 레이저 조사 에너지에 따른 그룹 별 epidermis 손상	25

그림 차례

<그림 1> 레이저파장의 발색단에 따른 흡수도	2
<그림 2> 돼지피부 샘플(뒷다리)	5
<그림 3> 돼지피부 샘플(복부)	5
<그림 4> Zimmer 사의 Cryo Mini와 연결한 MOSAIC 3D	7
<그림 5> 양면 AR 코팅이 되어 있는 20*20mm sapphire tip	8
<그림 6> Contact Cooling	8
<그림 7> 쿨링 시간 경과에 따른 Sapphire Tip의 표면 냉각 온도	9
<그림 8> FLIR A325	10
<그림 9> 지시코 Slide Warmer	10
<그림 10> 쿨링 조건에 따른 에너지 별 온도 변화	12
<그림 11> 그룹 별 최고 온도	12
<그림 12> 에너지 세팅에 따른 그룹 별 온도 상승	13
<그림 13> 쿨링 방법에 따른 그룹 별 온도 상승 비교	15
<그림 14> 에너지 증가에 따른 조직 necrosis column 깊이 비교 그래프	16
<그림 15> 에너지 증가에 따른 조직 necrosis column width 비교 그래프	17
<그림 16> 70mJ에서 epidermis가 완전히 손상된 케이스	18
<그림 17> 70mJ에서 epidermis가 보존된 케이스	18
<그림 18> 그룹1 조직 변성 (30mJ)	19
<그림 19> 그룹2 조직 변성 (30mJ)	19
<그림 20> 그룹3 조직 변성 (30mJ)	20
<그림 21> 그룹4 조직 변성 (30mJ)	20
<그림 22> 그룹1 조직 변성 (50mJ)	21
<그림 23> 그룹2 조직 변성 (50mJ)	21
<그림 24> 그룹3 조직 변성 (50mJ)	22
<그림 25> 그룹4 조직 변성 (50mJ)	22
<그림 26> 그룹1 조직 변성 (70mJ)	23

<그림 27> 그룹2 조직 변성 (70mJ)	· · · · ·	23
<그림 28> 그룹3 조직 변성 (70mJ)	· · · · ·	24
<그림 29> 그룹4 조직 변성 (70mJ)	· · · · ·	24

국 문 요 약

1550nm Er:Glass 레이저 조사 시 쿨링 방식에 따른 피부 표면 온도 및 치료효과 분석

레이저를 이용한 피부노화 치료는 피부과 영역에서 널리 알려진 기술이다. 레이저는 파장에 따라 흡수되는 발색단이 달라 선택적으로 대상을 치료할 수 있는 장점이 있어 치료 분야가 확대되고 있다. 이중 1550nm Er:Glass 레이저는 여드름 흉터 중 atrophic acne scar 치료에 효과적인 것으로 알려져 있다. 그러나 레이저에 의한 열 반응으로 피부 온도가 과하게 올라갈 경우 피부 표면의 화상을 비롯한 부작용을 초래할 수 있기 때문에 냉각을 통한 표피 보호가 필수적이다.

이러한 부작용의 위험성에도 불구하고 그동안 여드름 흉터에 대중적으로 사용되는 1550nm Er:Glass의 피부 냉각에 대한 연구가 부재했으며 냉매 가스를 이용한 피부 냉각과 에어 쿨링을 이용한 쿨링 방식, 수냉식 컨택 쿨링에 대한 비교 분석 연구는 존재했어도 쿨링 방식들의 조합에 따른 하이브리드 쿨링에 대한 비교 분석 연구는 부족했다.

본 연구에서는 열에너지를 이용한 레이저 기술 시 쿨링의 문제점을 개선하기 위해 contact cooling과 non-contact air cooling을 결합한 hybrid 쿨링 방식인 ‘사파이어 컨택 에어 쿨링’의 효과에 대해서 검증해 보았으며 레이저 치료 시 안전성 확보에 기여할 수 있을 것이다.

실험 방법은 ‘사파이어 컨택 에어 쿨링’의 효과에 대해서 비교 분석하기 위하여 ex-vivo pig skin을 이용하여 Control (No cooling), air only, contact only, both contact and air cooling 총 4가지를 이용했으며 레이저 조사 후 피부 표면의 온도 분석과 조직 손상 정도에 대한 병리 형태학적 조사를 함께 했다. 이를 위해 4가지 쿨링 조건 하에 1550nm Er:Glass 레이저의 에너지를 30mJ, 50mJ, 70mJ로 실험했으며 각 실험 조건을 적외선 열화상 카메라와 H&E stain 분석을 통해 치료효과를 분석했다.

핵심되는 말: 1550nm Er:Glass, Tissue necrosis column, contact cooling, air cooling

1. 서론

1.1. 연구 배경

현재 피부과 치료에서 Selective Photothermolysis(선택적 광열용해술)라는 이론을 기반으로 다양한 파장의 레이저를 이용한 치료가 적용되고 있다. 레이저는 파장에 따라 흡수되는 발색단이 달라 선택적으로 대상을 치료할 수 있는 장점을 가지고 있어 치료 영역이 확대되고 있으며 대표적으로 흉터를 치료하기 위한 레이저 피부 박피술 등이 있다. 특히 여드름 흉터 중 하나인 atrophic acne scar 치료 시 피부 진피층에 열에너지를 전달하여 선택적으로 콜라겐 리모델링의 자극을 촉진하기 위해 대표적으로 1550nm Er:Glass 레이저가 많이 사용된다(그림 1).

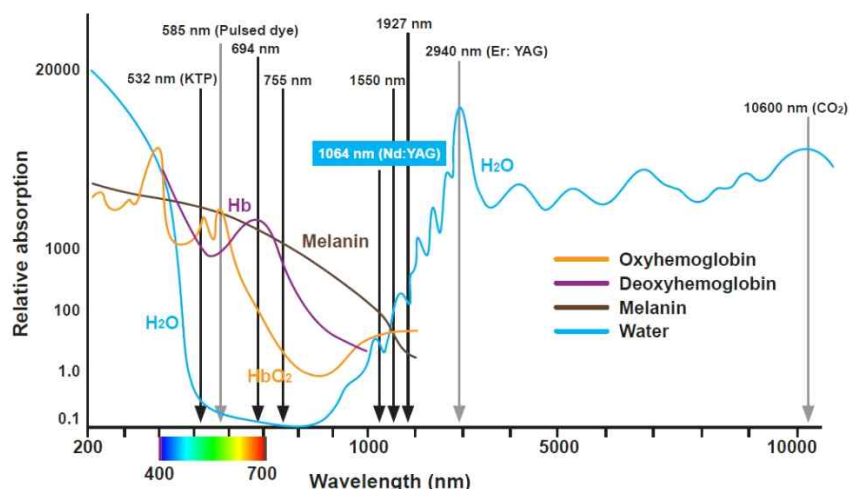


그림 2 레이저파장의 발색단(헤모글로빈, 멜라닌, 물)에 따른 흡수도

본 연구에 사용된 레이저는 1550nm Er:Glass의 랜덤 패턴 프락셔널 레이저이다. 이 레이저는 수분의 흡수도가 매우 높아 흉터, 피부 노화 치료에 대중적으로 사용되고 있으며 레이저의 침투 깊이를 높이기 위해 에너지 세팅에 관계없이 항상 최대 peak power를 사용하며 에너지를 증가시킴에 따라 pulse duration이 길어진다. 이때 레이저 열에너지는 반드시 표피를 통과하여 피부 내부로 전달되기 때문에 치료과정에서 불필요한 흉터, 홍반, 색소 침착 등의 표피 손상과 관련된 부작용이 발생할 수 있다.

이러한 문제는 피부 쿨링을 통해 방지가 가능하다. 피부 쿨링은 일반적으로 진피는

레이저를 이용하여 온도를 상승시키며 피부 표면의 온도는 쿨링 기능으로 온도를 낮춰 표피를 레이저의 열 손상으로부터 보호한다. 피부 레이저 치료에서 사용되는 쿨링 방식은 크게 냉매 가스를 이용하는 CSC(Cryogen Spray Cooling), Cold air cooling, 수냉식 contact cooling 등 3가지가 있다. 이 중 가장 효과적인 방법은 CSC 방식으로 표피 온도를 미세하게 조절할 수 있는 장점이 있지만 냉매 가스의 환경 규제로 점차 많은 국가에서 사용을 금지하고 있으며, cold air cooling은 부가적인 쿨링 기계를 이용하기 때문에 표피를 정확하게 타겟하는 것이 어려우며, contact cooling은 수냉식 쿨링의 특성상 장시간 사용 시 효율이 떨어지는 단점이 있다.

기존 연구에서는 CSC, air cooling, contact cooling 각각의 최적의 쿨링 조건을 도출하고자 했으나 다양한 노력에도 불구하고 주로 조직학적 분석만 하여 각 쿨링 방식의 온도 변화의 비교는 어려우며 변화하는 규제에 대응할 수 있는 방안을 도출하지 못했다.

본 연구에서는 1550nm Er:Glass 레이저를 이용한 atrophic acne scar 치료 조건에서 cold air cooling과 contact cooling의 장점을 결합한 hybrid cooling 방식인 ‘사파이어 컨택 에어 쿨링’ 방식의 효과를 확인하고자 한다.

1.2. 연구 목적

본 연구를 통해 1550nm Er:Glass 레이저 조사 시 쿨링 방식에 따른 피부 온도 변화 및 치료 효과를 분석하고자 한다. 동일한 레이저 조사 조건 하에서 피부 쿨링 조건을 4가지로 설정하여 각 쿨링 조건에서 피부 표면 온도 변화, 표피 손상, 레이저 조사에 따른 피부 속 반응을 확인하여 더욱 안전한 레이저 시술이 가능하도록 가이드를 제시하고자 한다.

1.3. 연구 범위

레이저를 이용한 열에너지 전달 시 피부 표면의 온도가 올라가서 화상과 같은 부작용을 방지하기 위해 에어 쿨링 기기를 함께 사용한다. 기존 쿨링 방식에 대한 비교 연구는 cold air cooling과 ice gel(contact cooling without cold air cooling) 쿨링 방식을 비교하여 환자의 cold air cooling 방식에 대한 선호도 조사 및 진통 효과의 차이에 대한 연구는 진행됐으나 동일한 레이저 조사 조건 하에서 쿨링 방식에 따른 온도 변화의 차이 및 치료 효과 분석을 한 사례는 없었기 때문에 이번 연구 연구를 통

해 레이저 조사 시 쿨링 방식에 따른 피부 표면 온도 및 치료효과를 이해하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구 대상 : 돼지 피부 샘플

실험 대상으로 인체 피부 조직과 조직학적으로 가장 유사한 특징을 가지고 있는 Yucatan종 암돼지(Optifarm solution, Korea)를 실험 대상으로 선정했다. 돼지 피부 샘플은 모두 동물 안락사 이후 24시간 이내에 돼지의 뒷다리와 복부 피부를 획득했다. 실험에 사용된 돼지피부 조직은 인간의 피부와 71-100%의 열 확산의 유의성을 나타내고 있다. 돼지 피부의 샘플은 각 레이저 조사를 효과적으로 하기 위해 10mm (가로) x 10mm(세로)로 지정했다. 또한 레이저 조사 시 레이저의 정확한 피부 온도 변화 및 온도를 측정하기 위해 돼지 피부를 제모 했다. 레이저 조사는 Environmental temperature는 25℃ (room temperature) 습도 40% (room humidity)의 동일한 환경에서 수행했다. 또한 피부 냉각 방식에 따른 피부 반응을 확인하기 위해 피부 깊이를 10mm까지 조직 분석을 했다.

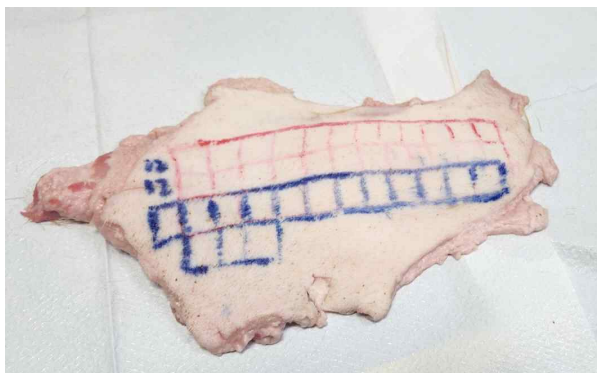


그림 3 돼지피부 샘플(뒷다리)

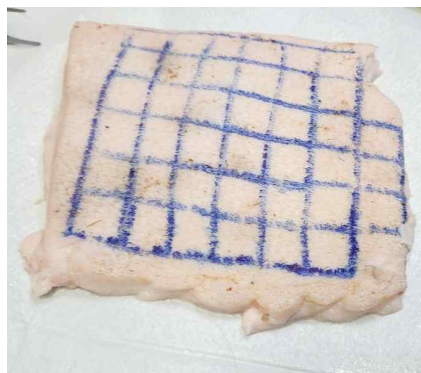


그림 4 돼지피부 샘플(복부)

2.2. 레이저 의료기기 정보

2.2.1. 장비명 : MOSAIC 3D

2.2.2. 품목명 : 기타레이저수술기

2.2.3. 분류번호 : A37010.11 (등급 : 3)

2.2.4. 장비 허가번호 : 제허 23-988호

2.2.5. 허가된 사용목적 : 기타레이저수술기. 광에너지(레이저)를 이용하여 조직의 절개, 파괴, 제거를 목적으로 사용하는 기기

2.3. 레이저 조사 프로토콜

레이저 파라미터(Laser Parameter)는 현재 1550nm Er:Glass 레이저를 이용한 atrophic acne scar 치료에 이용되는 치료 파라미터를 이용하여 실험한다.[7][8] 레이저 파라미터는 레이저 파장(Laser wavelength), 조사 면적(Scan size), 레이저 빔 사이즈(Micro beam size), 조사시간(pulse duration), 에너지(energy)이다. 표1의 조건에 따라 ex-vivo실험을 진행하며, 동일한 레이저 파라미터에서 각 쿨링 조건인 Control (No cooling), contact only, air only, both contact and air cooling에 따라 돼지 피부 샘플에 각 1회씩 레이저를 조사하고 그에 따른 피부 표면 온도를 분석한다. 각 쿨링 조건에 따른 차이를 분석하기 위해 레이저 파라미터는 동일한 조건으로 돼지 피부에 조사하며, 레이저 패턴은 랜덤 패턴으로 통일한다. 돼지피부와 레이저 사이의 거리는 sapphire, non-sapphire 모두 37mm로 동일하게 설정한다.

표 1 레이저 파라미터

Wavelength	Scan Size	Microbeam size(um)	Pulse Duration(ms)	Energy(mJ)
1550nm	10*10mm	314	1.6	30
		484	2.7	50
		513	3.9	70

각 실험조건을 그룹으로 나누어 두 마리의 돼지 복부와 뒷다리에 3번씩 테스트를 진행하여 각 그룹 당 18개 씩 총 72개 샘플을 채취한다.

표 2 세부 실험 프로토콜

그룹	실험 조건	팁 종류	Air Cooling	Scan size	Energy(mJ)	Shot
1	Control (No cooling)	Non Sapphire	No	10mm	30/50/70	1
2	Contact only	Sapphire	No	10mm	30/50/70	1
3	Air only	Non Sapphire	Yes	10mm	30/50/70	1
4	Both contact and air	Sapphire	Yes	10mm	30/50/70	1

2.4. 쿨링 방법

2.4.1. Air Cooling



그림 5 Zimmer 사의 Cryo Mini와 연결한 MOSAIC 3D

에어쿨링 시스템은 zimmer 사의 cryo mini 1가지만 사용하며, 쿨링 조건은 장비의 디폴트 설정이자 1550nm Er:Glass 레이저를 이용한 atrophic acne scar 치료 시 사용되는 레벨 5로 설정한다. 에어쿨링은 cryo mini에서 단열재질의 에어호스를 통해 전달되며 에어호스는 1550nm레이저의 핸드피스에 연결되어 돼지피부 샘플과의 거리는 레이저와 동일한 37mm이다.

2.4.2. Contact Cooling

컨택 쿨링은 20*20mm sapphire glass가 장착된 tip을 사용하며 레이저 투과율 향상을 위해 sapphire glass 양면에 AR 코팅을 한다.



그림 6 양면 AR 코팅이 되어 있는 20*20mm sapphire tip



그림 7 Contact Cooling

2.4.3. Cooling 시간 경과에 따른 Sapphire Tip 냉각온도 측정 확인

Sapphire Tip 표면의 실온 상태에서의 온도는 23℃이며, 실험 냉각 조건인 Zimmer Air Cooler의 level 5로 설정하여 냉각을 했을 경우 최저 16.1℃도까지 도달하며 도달까지 걸리는 시간은 3분이다. 이후 냉각 온도는 최저 온도인 16.1℃에서 유지되며 팁 표면 온도의 변화는 발생하지 않는다.



그림 8 쿨링 시간 경과에 따른 Sapphire Tip의 Sapphire glass 표면 냉각 온도

2.5. 온도 측정

온도 측정은 1550nm Er:Glass 레이저가 돼지피부 표면에 조사되고 있을 때 고정형 열화상 카메라 FLIR A325 30Hz(Teledyne FLIR사, 미국 오리건 윌슨빌)를 이용하여 측정한다. 특히 쿨링 방식에 따른 피부 온도 변화와 표피 손상 정도를 확인하기 위해 피부 표면 온도를 중점적으로 분석한다. 열화상 카메라의 측정 대상 표준 온도 범위는 -20℃ ~ 120℃이다. 돼지피부 샘플은 사람의 피부온도와 유사한 25℃를 유지시키기 위해 온도유지 장비(SLIDE WARMER 지시코, 대한민국 서울)를 이용하며, 실험온도는 23~26℃를 유지한다.



그림 9 FLIR A325



그림 10 지시코 Slide Warmer

2.6. 조직학적 분석

동일한 레이저 파라미터 조건 하에 각기 다른 쿨링 조건일 때 돼지피부의 손상 정도를 병리형태학적으로 분석하기 위해 조직검사를 수행한다. 조직학적 분석을 통해 돼지 피부 샘플 표피의 ablation 여부, necrosis 여부 등과 진피의 변화를 관찰한다. 이를 위해, 1550nm Er:Glass의 레이저를 각 적용조건에 따라 돼지샘플에 3회씩 테스트를 실시하고, 그에 따른 돼지피부 샘플을 biopsy punch 8mm를 이용하여 획득한다. 샘플 조직 획득 후 피부 층 아래 지방층을 제거하고 조직검사의 신뢰성을 확보하기 위하여 채취한 피부조직을 이등분으로 절개한 후, 10% 포르말데히드에 고정한다. 또한 10%의 포르말데히드에 고정한 조직에 H&E (Hematoxylin-eosin) stain을 시행한다. 마지막으로, H&E stain된 조직을 광학현미경(LEICA DM2500 LED LEICA사, 독일 베를린)을 통해 100, 400배 확대한 후 조직 내부에 대한 병리형태학적 분석을 수행한다.

3. 결과

3.1. 피부 표면 온도 측정

3.1.1. Cooling 조건에 따른 그룹 별 온도 변화

표 3 쿨링 조건에 따른 에너지 별 온도 변화

에너지	그룹	평균 최초 온도	쿨링 후 최저 온도	평균 최고 온도	쿨링 후 온도 하락	온도 상승
30mJ	1	27.3℃	27.3℃	41.9℃	0℃	14.6℃
	2	26.2℃	26.2℃	36.4℃	0℃	10.2℃
	3	26.7℃	18.7℃	29.4℃	8.0℃	2.7℃
	4	25.0℃	17.7℃	26.9℃	7.3℃	1.9℃
50mJ	1	26.9℃	26.9℃	57.1℃	0℃	30.2℃
	2	26.6℃	26.6℃	38.8℃	0℃	12.2℃
	3	24.5℃	17.4℃	32.6℃	7.1℃	8.1℃
	4	25.2℃	16.4℃	30.6℃	8.8℃	5.4℃
70mJ	1	27.5℃	27.5℃	61.5℃	0℃	34.0℃
	2	26.5℃	26.5℃	43.9℃	0℃	17.4℃
	3	24.5℃	17.3℃	36.8℃	7.2℃	12.3℃
	4	24.4℃	16.4℃	34.0℃	8.0℃	9.6℃

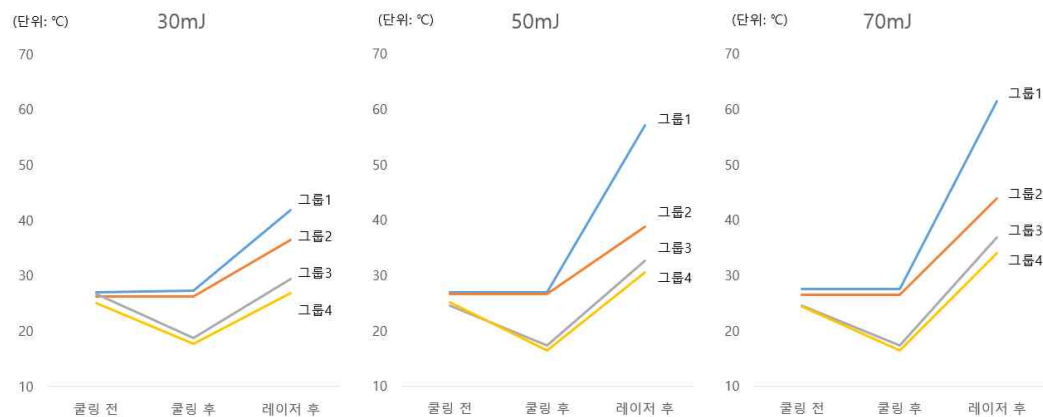
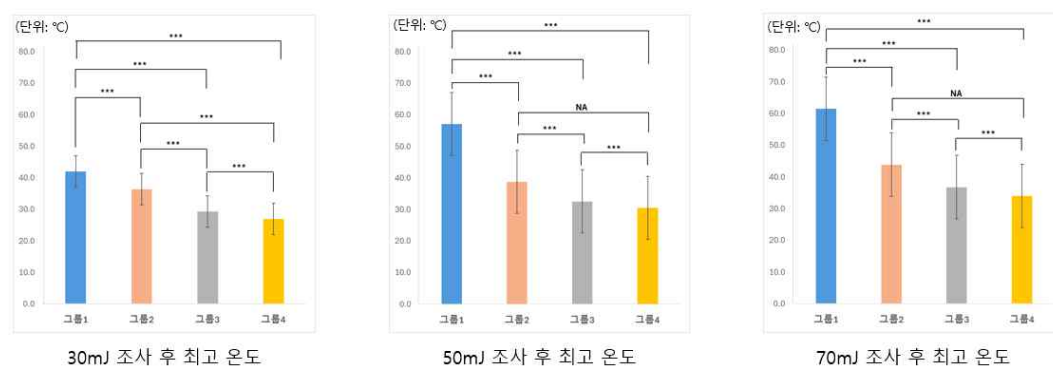


그림 11 쿨링 조건에 따른 그룹 별 온도 변화

표3과 그림11은 그룹 별 30mJ, 50mJ, 70mJ 에너지로 돼지 피부에 각각 레이저를 조사했을 때 피부표면 온도 변화를 나타낸 것이다.

레이저 조사 전 쿨링에 따른 온도 변화를 살펴보면 그룹1과 그룹2 조건에서는 피부 온도를 낮춰주는 기능이 따로 없기 때문에 피부 온도가 하강하지 않으며 레이저 조사 직후 온도가 상승했다. 반면에 그룹3과 그룹4에서는 air cooling의 차가운 air로 인해 피부에 접촉 즉시 온도가 최대 8℃ 가량 하강하는 모습을 보이며 레이저 조사 후 온도가 상승했다.



*** p-value < 0.001
 ** p-value < 0.05
 * p-value < 0.01

그림 12 그룹 별 최고 온도

그림 12는 에너지 세팅에 따른 레이저 조사 후 그룹 별 최고 온도를 나타내는 것으로 30mJ 에너지에서는 모든 그룹에서 레이저 조사 후 최고 온도 43℃ 미만을 유지했다. 50mJ에서는 그룹1은 57.1℃를 기록했고, 나머지 그룹은 43℃ 미만을 유지했다. 70mJ에서는 그룹1, 그룹2는 43℃를 초과했고, Air cooling이 동반된 그룹3과 그룹4는 43℃ 미만을 유지했다.

모든 에너지 조건에서 그룹1과 나머지 그룹의 평균 상승 온도의 차이는 통계적으로 유의미($P<0.001$)한 것을 확인할 수 있으며, 50mJ 이상의 에너지 사용 시 피부 화상을 방지하기 위해서 반드시 쿨링 조건이 추가되어야 하며, 70mJ 이상에서는 air cooling이 동반되어야 하는 것을 확인할 수 있다.

3.1.2. 에너지에 따른 그룹 별 온도 상승 비교

표 4 그룹1과 온도 상승 비교

Energy	그룹1	그룹2		그룹3		그룹4	
	레이저 조사 후 온도 상승	레이저 조사 후 온도 상승	그룹1 대비 온도 상승 정도	레이저 조사 후 온도 상승	그룹1 대비 온도 상승 정도	레이저 조사 후 온도 상승	그룹1 대비 온도 상승 정도
30mJ	14.8℃	10.3℃	71.1%	2.7℃	18.0%	1.9℃	12.9%
50mJ	30.1℃	12.2℃	41.4%	8.1℃	27.0%	5.4℃	18.5%
70mJ	34.0℃	17.4℃	51.6%	12.3℃	36.5%	9.6℃	28.6%
평균	26.3℃	13.3℃	54.7%	7.7℃	27.2%	5.6℃	20.0%

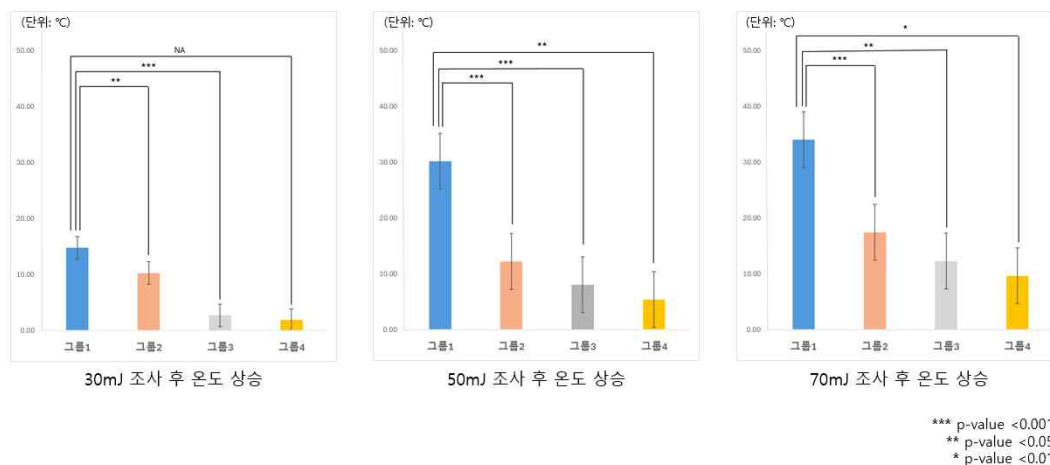


그림 13 에너지 세팅에 따른 그룹 별 온도 상승

표4와 그림13은 각 쿨링 조건 하에서 레이저의 에너지에 따른 최대 온도 상승 값을 비교한 데이터이다. 그룹1에서 상승 온도와 각 그룹의 온도 상승을 비교하면 그룹2는 그룹1 온도 상승의 54.7% 수준 정도까지 상승하여 쿨링 효과가 있는 것을 확인할 수 있으며, 그룹3은 그룹1 온도 상승의 27.2% 수준, 그룹4는 20.0% 수준으로 에어 쿨링이 동반될 경우 에어 쿨링이 동반되지 않은 그룹2 보다 쿨링 효과가 뛰어난 것을 관찰할 수 있다.

각 에너지 별 온도 상승의 차이를 보면 레이저 에너지 30mJ 조건에서 온도가 가장 높게 상승한 그룹2의 온도 상승은 10.3℃, 온도가 가장 적게 올라간 그룹4는 1.9℃로 그룹4의 온도 상승은 그룹2의 20% 정도 수준이지만 70mJ에서의 온도 상승은 그룹2가 13.3℃, 그룹4가 5.6℃로 그룹2 온도 상승의 42% 수준으로 에너지가 올라갈수록 쿨링 효과의 차이가 감소하는 것을 관찰할 수 있다.

각 쿨링 조건에서 에너지 별 최대 온도 상승을 비교해보면 그룹4의 쿨링 조건이 피부 표면 에너지 상승이 가장 적은 것을 관찰할 수 있으며, 그룹3과 비교 시 온도 상승 폭이 더 낮아 contact cooling과 결합된 hybrid 쿨링이 더욱 효과적인 쿨링 효과를 제공하는 것을 확인할 수 있다.

3.1.3. 레이저 에너지 증가에 따른 피부 표면 온도 상승 비교

표 5 각 그룹 별 에너지 증가에 따른 온도 상승 비교

에너지	그룹1		그룹2		그룹3		그룹4		평균 온도 상승률
	상승온도	상승률	상승온도	상승률	상승온도	상승률	상승온도	상승률	
30mJ	14.7℃		10.3℃		2.7℃		1.9℃		
50mJ	30.1℃	104%	12.2℃	19%	8.1℃	198%	5.4℃	182%	125.8%
70mJ	34.0℃	13%	17.4℃	43%	12.3℃	53%	9.6℃	80%	47.3%

표5는 각 쿨링 조건에서 레이저 조사 에너지 증가에 따른 피부 표면 온도 상승을 비교한 표이다. 50mJ에서 레이저 조사 후 피부 표면 온도의 상승은 30mJ에서의 온도 상승 대비 125.8%가 증가했으며, 70mJ에서 레이저 조사 후 피부 표면 온도 상승은 50mJ에서 상승한 온도 대비 47.3%로 30-50mJ 구간의 온도 상승 차이가 50-70mJ 구간 보다 2.7배 가파른 온도 상승을 관찰할 수 있어 에너지가 상승할수록 온도가 상승하는 범위가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 또한 아래 그림14를 통해 모든 그룹에서 에너지가 상승할수록 온도 상승 폭이 줄어드는 것이 통계학적으로 유의미한 것으로

나타난다.

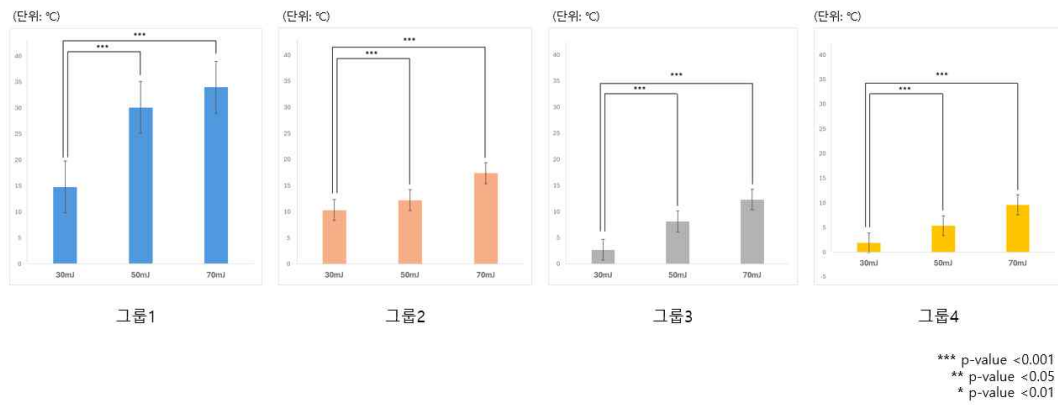


그림 14 쿨링 방법에 따른 그룹 별 온도 상승 비교

3.2. 조직학적 변화

3.2.1. 쿨링 조건에 따른 조직 necrosis column 깊이 비교

표 6 쿨링 조건 별 에너지 증가에 따른 조직 necrosis column 깊이 비교

		그룹1	그룹2	그룹3	그룹4
30mJ	깊이(um)	410.0	587.6	529.8	535.0
	증가율		43%	29%	30%
50mJ	깊이(um)	588.0	580.0	505.4	586.8
	증가율		-1%	-14%	0%
70mJ	깊이(um)	591.3	669.8	616.0	752.7
	증가율		13%	4%	27%
평균 깊이 증가율			18.3%	6.3%	19%

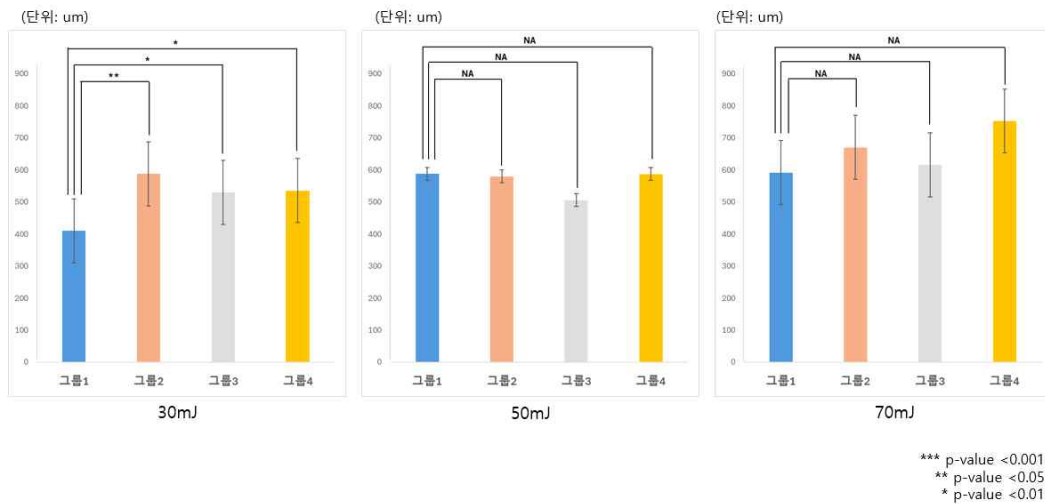


그림 15 쿨링 조건 별 에너지 증가에 따른 조직 necrosis column 깊이 비교 그래프

표6과 그림15는 레이저 조사 시 에너지 변화에 따른 그룹 별 돼지 피부 조직 내 조직의 necrosis column의 깊이를 비교한 표이다. 쿨링 조건과 관계없이 레이저 에너지 증가에 따라 조직의 necrosis column의 깊이가 전반적으로 증가하는 것을 관찰할 수 있다.

쿨링 조건 별 조직의 necrosis column 깊이 변화를 비교해 보면 그룹1과 그룹3 에서 깊이 차이는 6.3% 수준으로 낮은 반면 그룹2와 그룹4 조건은 그룹1 대비 각각

18.3%, 19% 증가한 것으로 보아 contact cooling이 사용되었을 때 necrosis column 깊이가 평균적으로 증가하는 것으로 관찰되기는 하지만 통계학적으로는 테스트 한 모든 에너지 조건에서 결과가 유의미 하지 않다.

3.2.2. 쿨링 조건에 따른 조직 necrosis column width 비교

표 7 쿨링 조건 별 에너지 증가에 따른 조직 necrosis column width 비교

		그룹1	그룹2	그룹3	그룹4
30mJ	Width(um)	210	149	184	133
	증가율	NA	-29%	-12%	-36%
50mJ	Width(um)	173	206	191	177
	증가율	NA	-1%	-14%	0%
70mJ	Width(um)	214	257	322	291
	증가율	NA	20%	50%	35%
평균 width 증가율		NA	3.3%	16%	-5%

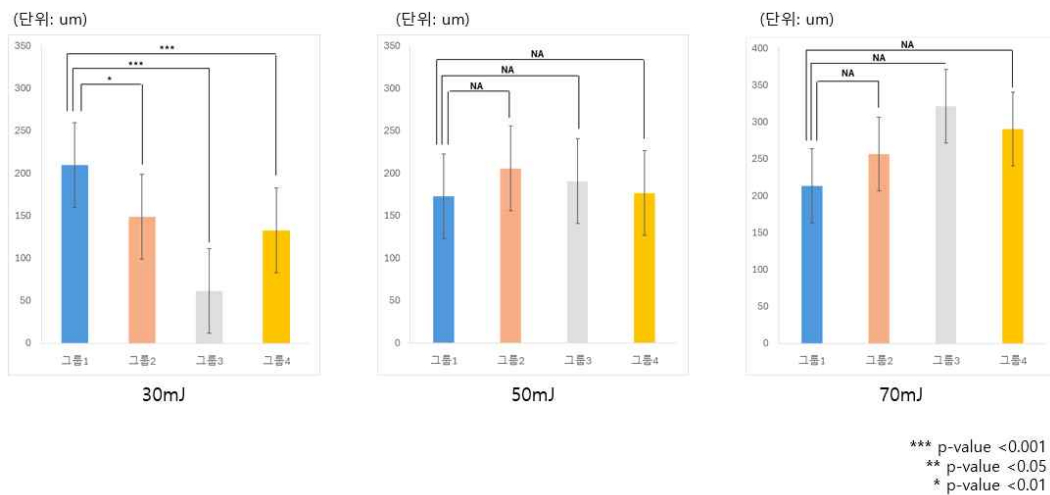


그림 16 쿨링 조건 별 에너지 증가에 따른 조직 necrosis column width 비교 그래프

표7과 그림16은 레이저 조사 시 에너지 변화에 따른 그룹 별 돼지 피부 조직 내 조직의 necrosis column의 width를 비교한 표이다. 에너지 변화에 따라 각 그룹에서 necrosis column의 width 변화에 특정한 패턴은 관찰되지 않으며 통계학적으로 유의미한 결과가 관찰되지 않는다.

3.2.3. 쿨링 조건에 따른 epidermis 손상 비교 결과 분석 방법

쿨링 조건에 따른 epidermis 손상을 분석하기 위해 각 조직 데이터에서 epidermis가 완전히 손상된 케이스가 하나라도 발견된 경우 손상으로 판단했다.

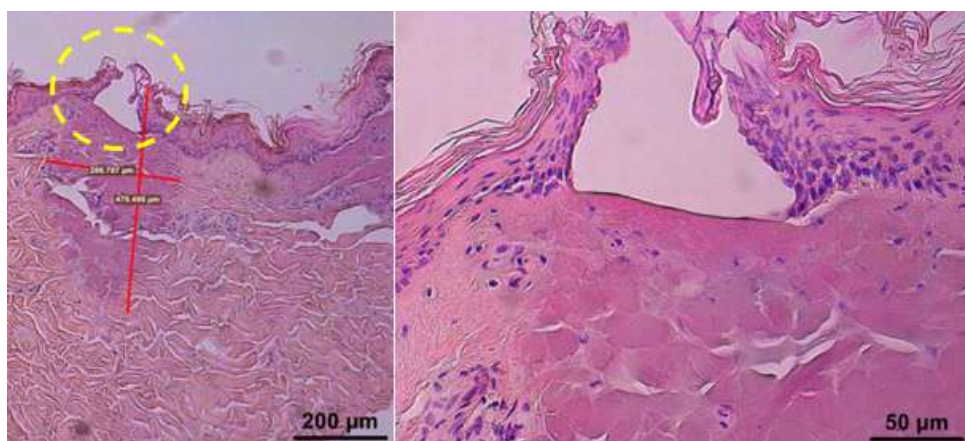


그림 17 70mJ에서 epidermis가 완전히 손상된 케이스

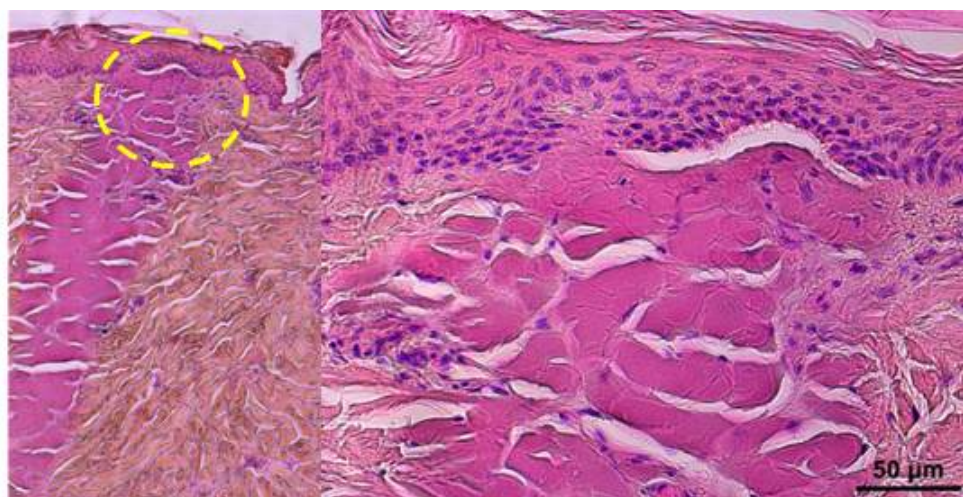


그림 18 70mJ에서 epidermis가 보존된 케이스

3.2.4. 쿨링 조건에 따른 epidermis 손상 비교 결과

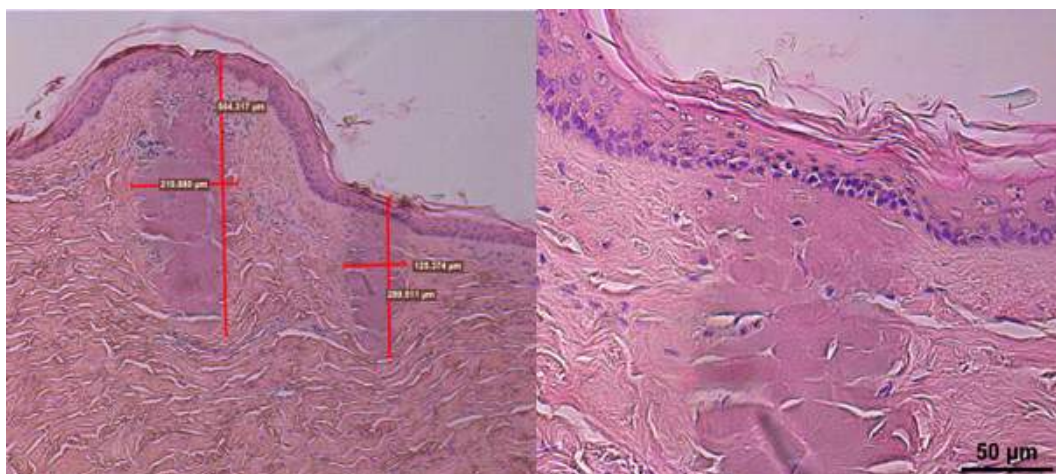


그림 19 그룹1 조직 변성 (30mJ)

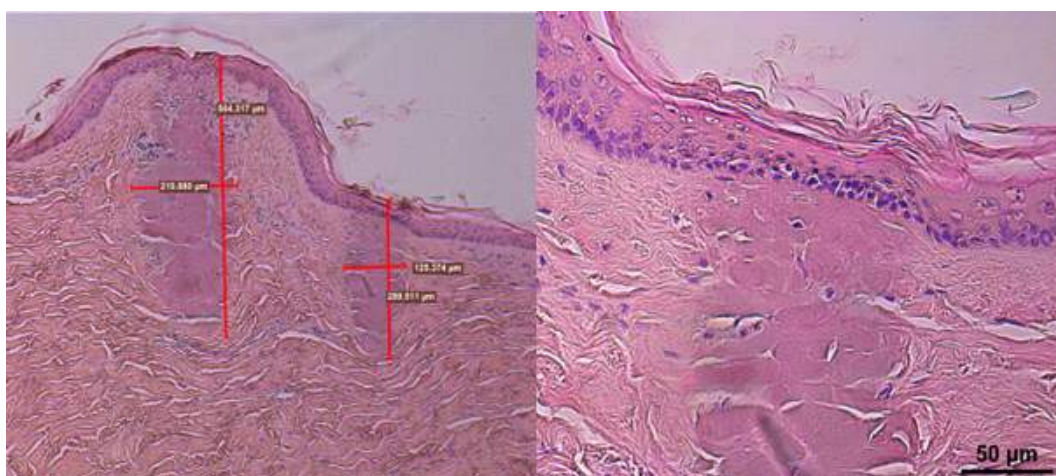


그림 20 그룹2 조직 변성 (30mJ)

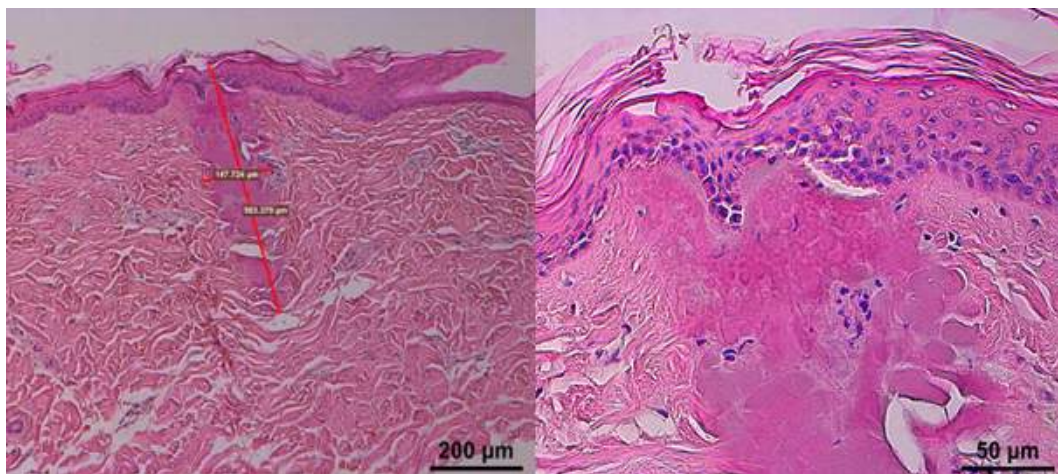


그림 21 그룹3 조직 변성 (30mJ)

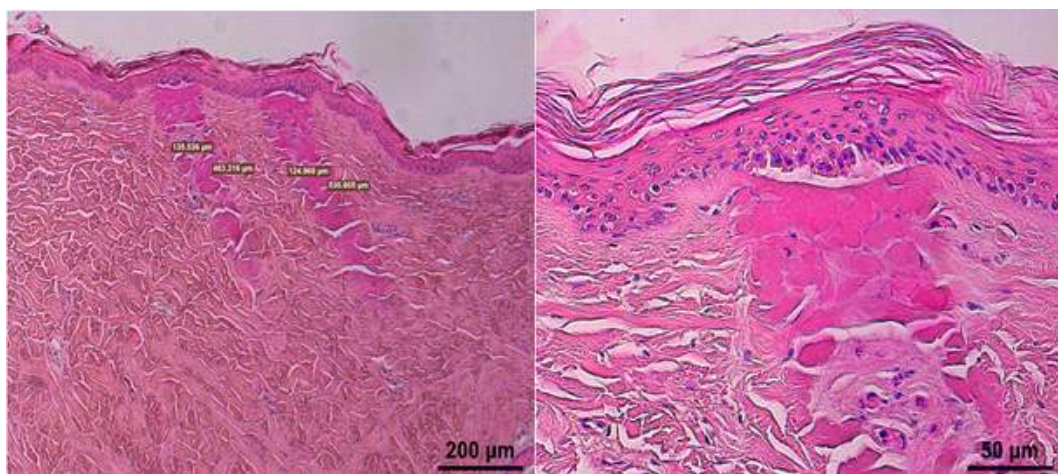


그림 22 그룹4 조직 변성 (30mJ)



그림 23 그룹1 조직 변성 (50mJ)

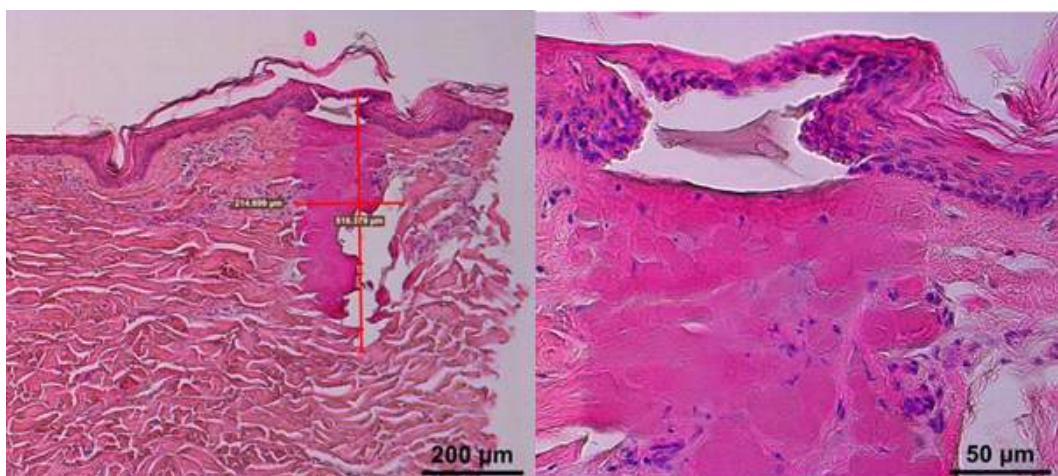


그림 24 그룹2 조직 변성 (50mJ)

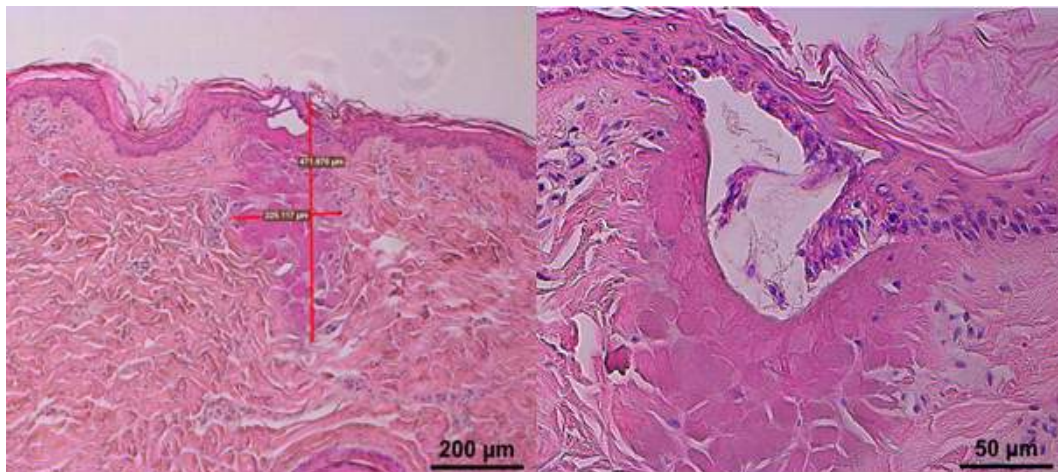


그림 25 그룹3 조직 변성 (50mJ)

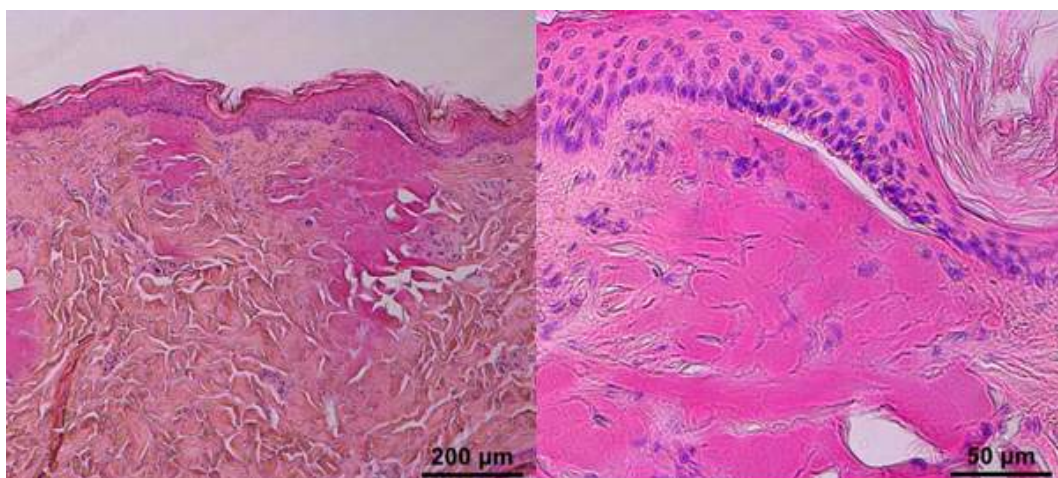


그림 26 그룹4 조직 변성 (50mJ)

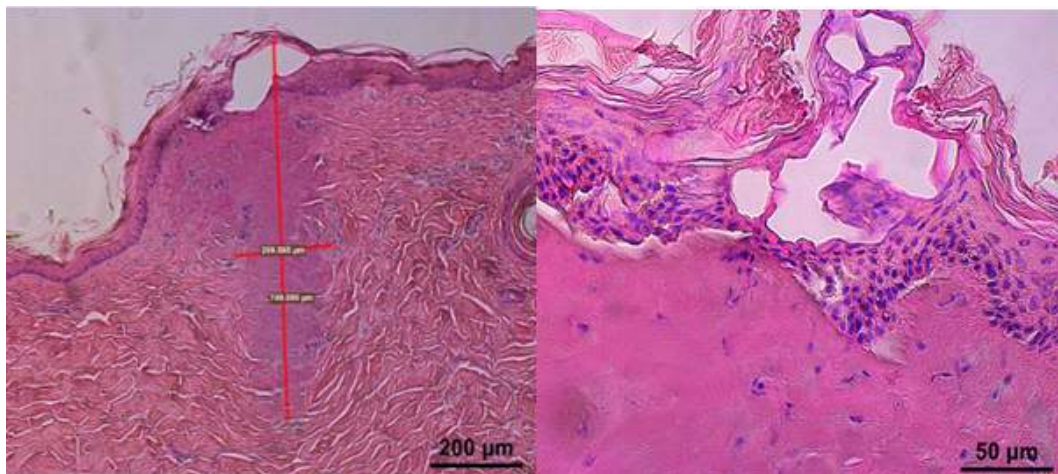


그림 27 그룹1 조직 변성 (70mJ)

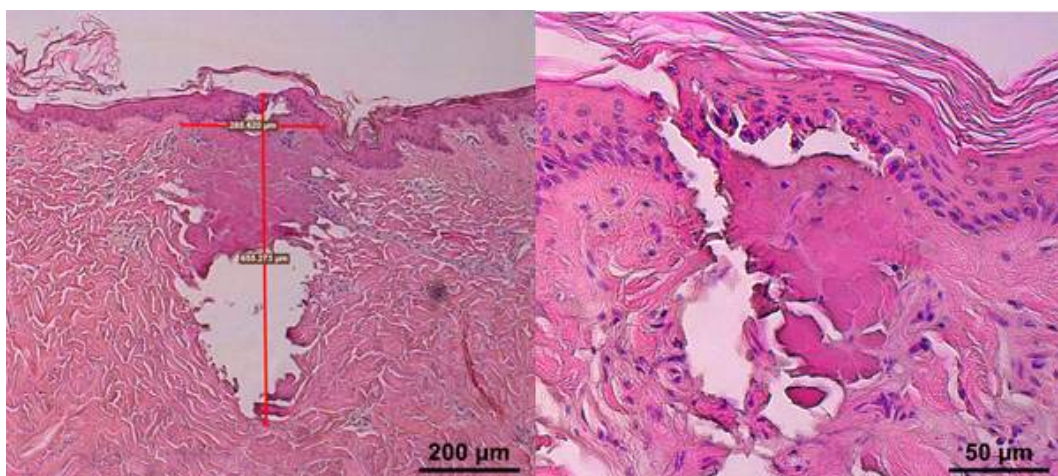


그림 28 그룹2 조직 변성 (70mJ)

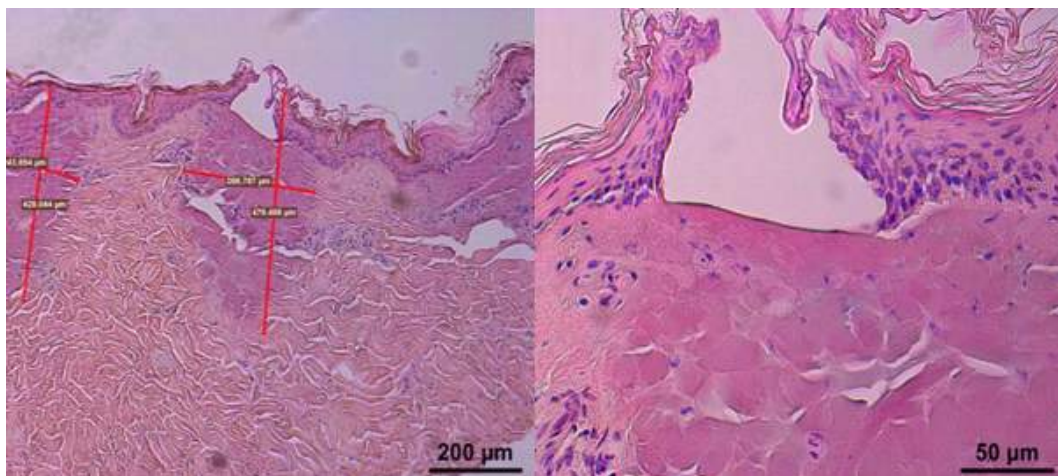


그림 29 그룹3 조직 변성 (70mJ)

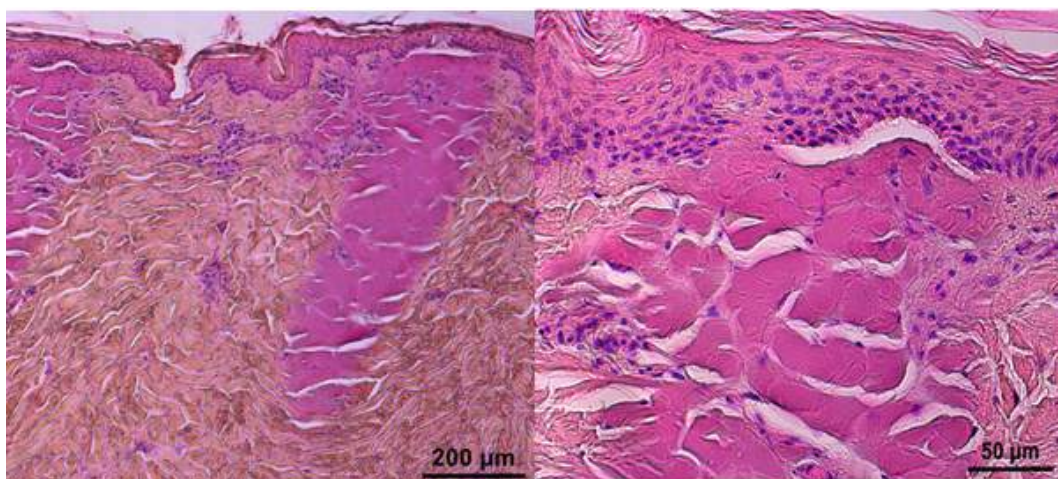


그림 30 그룹4 조직 변성 (70mJ)

표 8 레이저 조사 에너지에 따른 그룹 별 epidermis 손상

Energy	그룹1			그룹2			그룹3			그룹4		
	케이스 수	손상 케이스	손상 케이스 비율	케이스 수	손상 케이스	손상 케이스 비율	케이스 수	손상 케이스	손상 케이스 비율	케이스 수	손상 케이스	손상 케이스 비율
30mJ	6	3	50%	6	1	17%	6	0	0%	6	0	0%
50mJ	6	3	50%	6	2	33%	6	1	17%	6	0	0%
70mJ	6	3	50%	6	2	33%	6	2	33%	6	1	17%

표8은 각 그룹 별 레이저 에너지 증가에 따른 epidermis 손상을 확인한 데이터로 각 테스트 조건 별 샘플 수와 각 샘플에서 epidermis 손상이 확인된 케이스를 정리했다.

레이저 에너지 30mJ 조건에서는 에어 쿨링이 동반된 그룹3, 4에서는 epidermis 손상이 발견되지 않아 차가운 에어 쿨링이 epidermis를 레이저로부터 보호하는 것을 확인할 수 있다. 50mJ에서는 hybrid 쿨링을 이용한 그룹4에서만 epidermis가 보호되는 것을 확인할 수 있으며 70mJ에서는 모든 그룹에서 epidermis 손상이 발견되었다.

결과적으로 에너지가 증가할수록 epidermis가 손상된 케이스의 수도 증가하는 것을 관찰할 수 있으며, 쿨링이 사용됨에 따라 epidermis 손상을 줄일 수 있으며 두 가지 쿨링을 함께 사용하는 그룹4에서 epidermis가 가장 높은 비율로 보호되는 것을 확인할 수 있다.

4. 고찰

레이저는 피부에 조사 시 조직에 흡수, 산란, 투과, 반사 등 다양한 레이저의 광학적 현상들이 발생할 뿐만 아니라 레이저의 파장에 따라 피부에서 반응하는 발색단이 달라 다양한 결과를 만들어 낸다. 뿐만 아니라 레이저를 이용한 피부 치료의 효과는 온도에 따라 그 결과가 다르게 나타나기 때문에 레이저를 이용한 피부 치료 시 온도가 시술 효과에 미치는 영향에 대해서 충분한 이해가 필요하다. 본 연구는 이와 같이 피부표면 온도가 레이저 시술효과에 어떤 차이를 보이는지 이해하고, 레이저를 이용한 피부 노화 치료가 대중화됨에 따라 더욱 효과적이고 안전한 레이저 사용법을 제시하고자 하는 목적에서 시행됐다.

본 연구는 피부노화 및 여드름 흉터 치료에 대중적으로 사용되는 1550nm Er:Glass 레이저 사용 시 피부 쿨링을 no cooling, contact only, air only, Both contact and air cooling 조건으로 그룹을 나누어 돼지 표면 온도의 변화와 조직학적 검사를 통해 피부 조직의 necrosis column 변화 및 epidermis 손상 여부를 분석해보았다. 레이저 조사 후 피부 표면 온도 변화는 부작용을 판단할 수 있는 척도로 한국 식약처에서는 43℃를 기준으로 하고 있다. 또한 Epidermis의 손상은 레이저 시술에 따른 다운타임과 부작용 가능성을 파악하는데 중요한 요소로 epidermis 손상에 따라 시술회복에 더 많은 시간이 소요될 수 있으며 자칫 추가적인 부작용이 발생할 수 있기 때문에 피부 조직 손상에 따른 결과를 충분히 이해하고 레이저 치료를 할 필요가 있다.

쿨링 조건에 따른 피부 표면 온도 변화 테스트를 통해 현재 실제 치료환경에서 사용되는 쿨링 방식들의 쿨링 효과를 관찰할 수 있었으며, 이번에 새롭게 설계된 Both contact and air cooling을 통해 쿨링 효과 향상을 확인할 수 있었다.

첫째, 쿨링 조건에 따른 그룹 별 온도 변화를 확인했을 때 실제 atrophic acne scar 치료에 사용되는 30mJ 에너지에서는 레이저 조사 후 모든 그룹에서 43℃ 미만을 유지하는 것을 확인할 수 있었으며 50mJ에서는 contact cooling 또는 air cooling이 동반되어야 43℃ 미만을 유지할 수 있었고, 70mJ에서는 반드시 air cooling이 동반되어야 43℃ 미만을 유지할 수 있었다. 현재 한국 식약처에서 허용하는 1550nm Er:Glass Fractional 레이저의 최대 에너지는 120mJ이며 FDA에서는 70mJ까지 허용하고 있다. 비록 의료기기 허가 기관에서 50mJ을 초과하는 에너지를 허용하고 있지만 식약처에서는 피부 화상 온도를 43℃로 가이드 하고 있기 때문에 안전한 레이저 치료를 위해 쿨링이 동반되어야 한다.

둘째, 쿨링이 동반된 3가지 조건 모두 쿨링 효과가 있는 것을 증명할 수 있었으며 각 그룹 별 쿨링 효과를 분석하면 레이저 조사 후 그룹2의 온도 상승은 그룹1 온도

상승의 54.7% 수준, 그룹3는 27.2%, 그룹4는 20.0%로 에어 쿨링이 동반될 경우 쿨링 효과가 크게 증가하는 것을 확인할 수 있으며 두 가지 쿨링이 함께 사용된 both contact and air cooling을 사용한 그룹4에서 가장 뛰어난 쿨링 효과를 보였다.

쿨링 조건에 따라 피부 조직의 반응도 다르게 나타났다.

첫째, 그룹 간 에너지에 따른 조직의 necrosis column의 깊이를 비교했을 때 우선 에너지 증가에 따라 necrosis column 깊이 증가가 관찰되었고, contact cooling이 사용되지 않은 그룹3은 그룹1 대비 깊이가 평균 6.3% 증가하여 에어 쿨링은 necrosis column 변화에 유의미한 결과를 주지 못한 반면 contact cooling이 함께 사용된 그룹2와 4는 necrosis column 깊이가 평균 각각 18.3%, 19% 증가하여 contact cooling이 necrosis column 깊이 증가에 영향을 미치는 경향은 보이나 통계학적으로 유의미하지 않은 결과가 확인되어 contact cooling 시 피부를 누르는 압력에 대한 연구가 필요하다.

둘째, necrosis column의 width 변화는 에너지 조건 및 쿨링 방식에 따라 유의미한 패턴 변화나 통계학적으로 유의미한 결과가 나오지 않아 쿨링 방식은 necrosis column의 width에는 영향을 미치지 않았다.

셋째, 쿨링 조건에 따른 epidermis의 손상은 모든 그룹에서 레이저 에너지가 상승할수록 epidermis 손상 케이스가 증가하는 것을 관찰할 수 있었고, 에너지 30mJ에서는 에어 쿨링을 동반할 경우 epidermis 손상이 0%였으며, 50mJ에서는 hybrid 쿨링 방식인 그룹4에서만 epidermis 손상이 0%였다. 70mJ에서는 모든 그룹에서 epidermis 손상이 발견되어 레이저 치료 시 주의가 필요한 것을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 연구는 1550nm Er:Glass 레이저를 이용한 atrophic acne scar 치료 조건에서 cold air cooling과 contact cooling의 장점을 결합한 hybrid cooling 방식인 ‘사파이어 컨택 에어 쿨링’ 방식의 효과를 확인하고자 했다.

Hybrid cooling 방식은 현재 atrophic acne scar 치료 시 사용되는 cold air cooling 단독 또는 contact cooling 단독 사용 대비 뛰어난 쿨링 효과를 증명했으며, 식약처와 FDA에서 허용하는 1550nm Er:Glass의 최대 에너지인 70mJ을 이용한 치료 시 반드시 에어 쿨링이 동반되어야 식약처에서 가이드 하는 화상 온도인 43℃ 미만을 유지하며 안전한 시술이 가능하다는 것을 확인하여 1550nm Er:Glass 레이저의 안전한 사용 가이드가 가능해졌다.

또한 레이저 에너지 증가에 따라 피부 조직의 necrosis column 깊이가 증가하는 것을 확인했으며 쿨링 방식에 따라 necrosis column 변화의 양상이 다르게 나타나는 것을 관찰할 수 있었다. 에어 쿨링은 necrosis column 변화에 유의미한 영향이 없는 반면 contact cooling은 평균적으로 necrosis column 깊이가 증가하는 것을 확인할 수 있었으나 피부를 누르는 압력이 결과에 영향을 미치는 것으로 추정되어 이에 대한 추가적인 연구가 요구된다.

참고 문헌

1. SB Cho. 2009. Efficacy of the fractional photothermolysis system with dynamic operating mode on acne scars and enlarged facial pores: Dermatol Surg
2. V Dini. 2012. Use of mosaic (erbium glass) laser in treatment of acne scars: SURGERY-LASER VOLUME 66
3. JU Shin. 2014. Comparison of non-ablative and ablative fractional laser treatments in a postoperative scar study: Lasers Surg Med
4. A Das. 2016. Cooling Devices in Laser therapy: J Cutan Aesthet Surg
5. C Raulin. 2000. Cold Air In Laser Therapy. First Experiences With A New Cooling System: Lasers Surg Med
6. 박소라. 2013. 피부 노화 레이저 치료에 관한 최적의 파라미터 정립을 위한 연구. 동국대학교
7. WH Kang. 2009. Atrophic acne scar treatment using triple combination therapy: Dot peeling, subcision and fractional laser: Journal of Cosmetic and Laser Therapy
8. 정기양, 정진영. 2008. 1550 nm Er:Glass Fractional Photothermolysis Laser를 이용한 눈 주위의 주름치료. 연세대학교 의과대학 피부과학교실
9. 양웅식. 2001. 비후성 반흔에 비박피성 및 박피성 프랙셔널 레이저가 미치는 영향에 대한 실험적 연구. 고려대학교
10. YJ Lee. 2014. Clinical Benefit of Combination Treatment with 1,550 nm Fractional Laser and a New Wavelength at 1,927 nm on Photorejuvenation in Asian Patients: Med Lasers

ABSTRACT

Analysis of skin surface temperature and treatment effect according to cooling method when irradiated with 1550nm Er:Glass laser

Laser-based skin rejuvenation treatments are widely recognized in dermatology. Lasers offer the advantage of selective targeting based on the absorption of chromophores specific to different wavelengths, thus expanding their therapeutic applications. Among these, the 1550nm Er:Glass laser is known to be effective in treating atrophic acne scars. However, the thermal response induced by lasers can excessively raise the skin temperature, potentially causing adverse effects such as surface burns, necessitating epidermal protection through cooling.

Despite the risk of such side effects, research on the cooling of skin treated with the commonly used 1550nm Er:Glass laser for acne scars has been lacking. While comparative studies on cooling methods such as refrigerant gas cooling, air cooling, and water-cooling contact methods exist, there is a dearth of research on hybrid cooling methods combining these techniques.

This study aims to address this gap by investigating the efficacy of a novel hybrid cooling method, 'Sapphire Contact Air Cooling,' which combines contact cooling and non-contact air cooling. The objective is to enhance cooling efficiency during laser treatments, thereby minimizing the risk of thermal damage and improving the safety profile of laser procedures.

To achieve this, an experimental setup was designed using ex-vivo pig skin to compare and analyze the effectiveness of the 'Sapphire Contact Air Cooling' method. Four cooling conditions were tested: control (non-cooling), air only, contact only, and Both contact and air cooling. After laser exposure, the skin surface temperature was measured, and the degree of tissue damage was evaluated through histopathological examination.

The study employed the 1550nm Er:Glass laser with energy settings of 30mJ, 50mJ, and 70mJ under the four different cooling conditions. Infrared thermal imaging was used to monitor the skin surface temperature in real-time, while Hematoxylin and Eosin (H&E) staining was performed to assess the extent of tissue damage at the histological level.

Results indicated that the hybrid cooling method significantly reduced the skin surface temperature compared to other cooling techniques. The combination of contact cooling and air cooling provided a synergistic effect, enhancing the overall cooling efficiency. Histopathological analysis revealed that the 'Sapphire Contact Air Cooling' method effectively minimized thermal damage to the epidermis and dermis, suggesting its potential to improve the safety and efficacy of laser treatments for atrophic acne scars.

In conclusion, this study demonstrates that the 'Sapphire Contact Air Cooling' method offers a superior cooling solution for 1550nm Er:Glass laser treatments. By effectively reducing skin temperature and minimizing thermal damage, this hybrid cooling technique can contribute to safer and more effective laser procedures, ultimately benefiting patients undergoing treatment for atrophic acne scars. Further research and clinical trials are warranted to validate these findings and explore the broader applications of this innovative cooling method in dermatological laser treatments.

Key words : 1550nm Er:Glass laser, air cooling, contact cooling