

여러 임상과에서 사용하는 레이저 기법에 관한 최신 동향

한 형 진

가톨릭관동대학교 국제성모병원 피부과학교실

E-mail: clemens21@hanmail.net

요약문

LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)는 고에너지 광자 빔(photon beam)의 방출에 기초하는 광학 기술이다. 레이저는 접촉하는 조직과의 상호작용을 통해 절단, 응고, 재생 등의 생물학적 기능을 발휘하게 된다. 레이저의 임상에서의 사용은 1960년대부터 이루어져 왔으며, 약 60년이 흐른 오늘날에는 물론 그 당시보다 레이저가 훨씬 더 넓은 분야에서 응용되고 있다. 레이저를 이용한 치료는 기존 치료나 수술법에 비해 통증과 회복 시간 등에서 분명한 장점을 제공하지만, 아직 레이저의 기능에 대한 많은 부분이 알려지지 않은 상태이므로 그 잠재성에 비하여 완전히 대세로 자리 잡은 상태는 아니다. 본 동향 리포트에서는 현재 여러 임상 분야에서 널리 사용되고 있는 최신 레이저 기술을 소개하여 독자들에게 레이저에 대한 친숙감을 심어주고 레이저가 가지고 있는 치료적 잠재성(therapeutic potential)을 일깨우고자 한다.

Key Words: LASER; fractional; minimally-invasive; LLLT (low-level LASER therapy); PRP (pan-retinal photocoagulation)

목 차

1. 서문
2. 본문
 - 2.1. 소화기 질환
 - 2.1.1. 내시경 위장관 수술
 - 2.1.2. 악성 및 양성 종양의 절제
 - 2.1.3. 레이저 요로 결석/담석 분석술
 - 2.2. 골관절계 질환
 - 2.2.1. 레이저 무릎 관절경 수술
 - 2.2.2. 최소침습적 척추 수술
 - 2.2.3. 경피적 레이저 디스크 감압술
 - 2.2.4. 미세 현미경 레이저 요추 디스크 절제술
 - 2.2.5. 고강도 레이저 치료

- 2.3. 안질환
 - 2.3.1. 당뇨 망막병증
- 2.4. 호흡기 질환
 - 2.4.1. 특발성 폐 섬유증
 - 2.4.2. 만성 폐쇄성 폐질환
- 2.5. 신경계 질환
 - 2.5.1. 악성 뇌종양
- 2.6. 피부 재생
- 2.7. 비만
- 3. 맺는 말
- 4. 참고문헌

1. 서문

레이저 기술은 1960년대에 미국에서 군사용으로 처음 사용된 이래 민간 분야에 급속도로 상용화되었다. 레이저는 생리학(physiology), 광물리학(photophysics), 광생물학(photobiology), 의생명공학(biomedical engineering) 등, 현대 생의학의 여러 분야가 교차하는 지점에 치하는 매우 특수한 영역이다. 레이저란 **“Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (방사선 유도방출에 의한 광증폭)”**을 뜻하는 두자어(acronym) 로써, 신체 내 특정 목표물, 즉 발색단(chromophore)을 겨냥하는 고강도의 빛을 지칭한다. 레이저 광선은 특수한 광원으로 보통 세 가지 주요한 특성, 즉, 단색성(monochromaticity), 평행성(collimation) 및 일관성(coherence)을 가지는 빛이라 설명할 수 있다 (그림 1). 레이저는 일반적으로 ‘에너지는 만들어지거나 파괴되는 것이 아니라 단지 한 형태에서 다른 형태로 전환된다’는 “에너지 보존 법칙(law of conservation of energy)”에 기초한다. 레이저 기기에서 생성된 전기 에너지는 빛 에너지로 전환된다. 여기에는 빛의 이론(theory of light)-즉, 입자 및 파동 이론(particle & wave theory)-이 모두 적용되는데, 이는 단일 파장의 광자 빔(photon beam)이 섬유를 통해 전달되어 대상 조직에 집중되는 것으로, 내시경에서 사용되는 광섬유 케이블(fiberoptic cables)과 유사하다. 이 광자 빔은 다양한 방식으로 접촉하는 조직과 상호작용하여(laser-tissue interaction) 다양한 영향을 끼치게 된다.

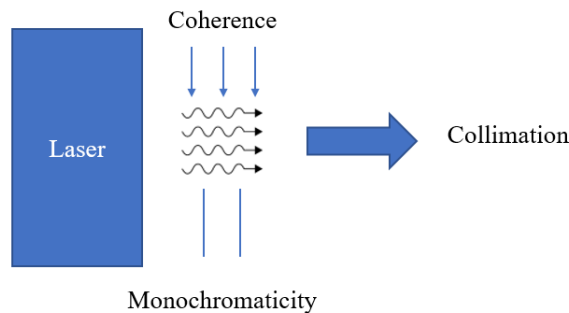


그림 1. 레이저의 기본 원리와 3가지 특성.

레이저는 그 종류마다 방출되는 빛의 파장, 조직을 응고/절단/증발시키는 능력이 다양한데, 이것들은 피부나 피하 지방 조직에서는 혈류가 왕성한 조직을 무혈성으로 절단하거나 피부 종양과 같은 병변을 절제할 수도 있고, 위장관에서는 대장 용종 같은 종양을 수축 또는 파괴하는 데 이용되기도 한다 (표 1). 그뿐만 아니라, 레이저 요법을 전통적인 외과 수술이나 항암 화학요법(anti-cancer chemotherapy), 방사선 요법(radiotherapy) 등과 조합하여 치료적 시너지 효과를 얻을 수도 있다 [1]. 다른 한편으로는 수술 후 통증을 완화하기 위해 신경 말단을 소작(cauterization)하고 림프혈관(lymphatic vessels)을 봉합하여 부종(edema)과 종양 세포의 성장을 억제하는 데에도 레이저를 사용할 수도 있다. 근래에 들어서는 피부 재생(skin rejuvenation) 등, 미용적인 목적의 치료와 함께 여러 가지 질환의 수술적 치료에도 레이저를 적극 활용(LASER surgery)하는 트렌드가 자리잡고 있다 [2]. 본 동향 리포트에서는 여러 임상과의 치료 영역에서 새로운 트렌드로 자리 잡고 있는 대표적인 레이저 기술들을 간략히 소개하고자 한다.

표 1. 현대의학에서 가장 흔히 사용되는 레이저 기기들.

Laser	Wavelength	Pulse duration	Tissue interaction
CO ₂	10 μm	CW	thermal
Er : YAG	2.94 μm	100 – 250 μs	thermal/mechanical
Ho : YAG	2.12 μm	100 – 250 μs	thermal/mechanical
Nd : YAG	1,064 μm	100 ps – CW	plasma/thermal/mechanical
Diode	635 – 1,550 nm	810 – 1,064 nm	thermal/photothermal
Alexandrite	720 – 800 nm	50 ns – CW	thermal
Ruby	694 nm	1 – 250 μs	thermal
Argon	488/514 nm	CW	thermal

*용어설명: CO₂, 이산화탄소; Er, erbium; Ho, holmium; Nd, neodymium; YAG, yttrium aluminum garnet; CW, continuous wave; pulse duration, 열에너지; mechanical, 기계적 에너지; plasma, 플라즈마; photothermal, 광열에너지.

2. 본문

2.1. 소화기 질환

2.1.1. 내시경 위장관 수술

내시경 시술(endoscopic procedure)에 최초로 레이저가 사용된 것은 레이저 에너지 전달에 필수인 유연 섬유(flexible fibers)가 개발된 1970년대 초반이었다. 위장 출혈에 대한 응고 효과(coagulative effect)와 양성 소점막병변 치료 효과 등으로 인해 Nd : YAG 레이저는 위장관 악성 질환에 대한 진정 치료(palliative therapy), 위장 협착증(stricture), 장폐색(intestinal obstruction) 또는 점막 낭종 등의 다양한 병변의 치료에 유용하게 쓰이고 있다 [3].

열 레이저(thermal LASER)는 진행된 위암의 진단에서 내시경 검사에 보조적으로 사용할 수 있게 개발되었으며 간질 레이저 광응고술(interstitial LASER photocoagulation)은 간(liver)으로 전이된 암의 치료에 효과적으로 사용할 수 있다 [4]. 위장관 종양 치료에 최근 응용하기 시작한 레이저 기법들 중 가장 중요한 것은 '광역학 치료(photodynamic therapy, PDT)'라 할 수 있는데, PDT는 위장관 및 췌장의 이형성증(gastrointestinal & pancreatic dysplasia) 및 종양 제거에 효과적인 치료법이다 [5].

2.1.2. 악성 및 양성 종양의 절제

근래의 레이저들은 여러 장기 계통의 다양한 악성종양을 안전하게 제거할 수 있다는 큰 장점을 통해 식도 편평세포암(esophageal squamous cell carcinoma)과 조기위암(early gastric adenocarcinoma), 높은 악성도의 바렛 식도(Barrett esophagus)와 같은 상피 종양(carcinomas)을 절제하는 데에 효과적으로 사용되고 있다 [6].

2.1.3. 레이저 요로 결석/담석 분석술

레이저 분석술(Laser lithotripsy)은 이미 요로 결석과 담석을 분쇄하여 배출시키는 데 쓰이는 표준 치료법으로 자리 잡은 상태이다 [7, 8]. 요로결석(uroolithiasis)은 주로 504 nm의 녹색 파장을 흡수하므로, 이 파장의 레이저를 이용하여 주변 조직의 손상 없이 안전하게 분쇄시킬 수 있다 [9]. 요로 결석이 레이저 파의 에너지를 흡수하면 돌 주변에 이온(ions)이 축적되는데 이러한 상태에서 충격파를 가하면 결석을 쉽게 작은 조각으로 분쇄할 수 있다. 이러한 점을 이용한 Q-switched Nd : YAG 레이저가 이러한 메커니즘을 사용하여 매우 강력한 파장을 통해 결석을 분쇄한다 [10]. 롱펄스 홀뮴-야그(long-pulse holmium : YAG) 레이저는 2,100 nm 파장에서 빛을 흡수하여 광열 효과(photothermal effect)를 이용하여 결석을 파괴한다 [11].

2.2. 골관절계 질환

2.2.1. 레이저 무릎 관절경 수술

홀뮴-야그 레이저는 적외선(infrared) 범위의 파장($\lambda=2,100\text{nm}$)을 가지며 [12] 액상 매체(liquid medium)에서 그 효과를 발휘하기 때문에 관절경 수술(arthroscopic surgery)에서 적용하기에 적합하다 [13]. 홀뮴-야그 레이저를 이용한 관절경 수술에서는 먼저 직경이 약 1.8 mm인 니들 프로브(needle probe)를 관절에 삽입한 후 레이저의 에너지를 직경 350 μm 의 섬유관을 통해 목표 조직으로 전달하여 치료 효과를 나타내게 된다. 레이저 파장의 에너지가 관절 내 조직에 도달하게 되면 교원질(collagen) 섬유를 가열해 변성(degeneration)을 일으키는데, 이러한 광열 효과(photothermal effect)는 무릎 관절낭(knee capsule)이 느슨해 졌거나, 인대(ligament)가 심하게 수축되어 있을 때 유용하여 관절경을 이용한 연골 윤곽선 개선 또는 연골성형술 등에 많이 사용된다 [14]. 또한 조직과 접촉하는 레이저 섬유가 탄소 유리기(carbon free radical)의 생성 없이 세포벽을 용해 시켜 조직을 파괴할 수도 있는데, 이 때 섬유 팁(fiber tip)의 온도가 900°C에 이르므로 주변 조직을 지혈하는 데 용

이하기 때문에 외상 후에 발생할 수 있는 유착조직의 분해(adhesiolysis)에서 적용되고 있다 [15]. 이러한 장점으로 인해 레이저 관절경 시술 후에는 윤활막염(synovitis)의 빈도가 매우 적고 환자가 빠른 시일 이내 일상으로 복귀하는 것이 가능하게 된다 [16].

2.2.2. 최소침습적 척추 수술

최소침습적 척추 수술(minimally-invasive spine surgery, MISS)는 고식적인 척추 수술보다 피부 절개의 크기가 매우 작은 것이 특징이다. 관 모양의 리트랙터(tubular retractor)를 이용하여 작은 절개선을 만들고 이 구멍을 통하여 다양한 미세 수술기구를 통하여 치료를 시행하게 된다 [17]. 절개선(incision line)의 크기가 아주 작기 때문에 MISS 시행 후에는 통증이 적고 회복 속도가 빠르다는 장점이 있다.

2.2.3. 경피적 레이저 디스크 감압술

흔히 '디스크'라 불리는 추간판탈출증은 추간판의 구성 성분인 수핵(nucleus pulposus, NP)이 섬유륜(annulus fibrosus, AF)을 뚫고 나와 신경 눌림 증상을 일으키는 질환으로 척추 수술의 가장 흔한 적응증 중 하나이다 [18]. 디스크의 치료법 중 경피적 레이저 디스크 감압술(percutaneous laser disc decompression, PLDD)은 요추 부위 레이저 수술 영역에서 매우 활발한 연구가 진행되고 있는 분야이다 [19]. PLDD에서는 레이저를 사용하여 신경 압박 및 통증을 유발하는 디스크 조직을 하는데, 먼저 영상 장비를 통해 레이저를 탑재한 작은 프로브를 문제가 되는 디스크 조직의 중심부에 위치시킨 다음 레이저의 에너지를 이용하여 신경을 압박하는 부위를 선택적으로 파괴하게 된다 (그림 2).

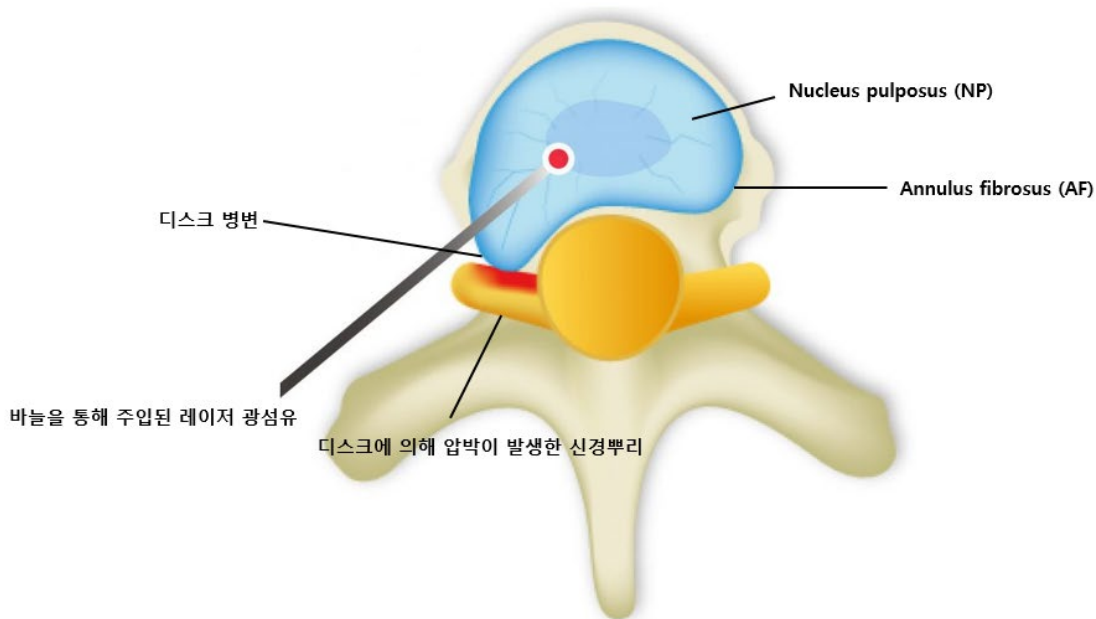


그림 2. 경피적 레이저 디스크 감압술(PLDD).

2.2.4. 미세 현미경 레이저 요추 디스크 절제술

현재 추간판 탈출증에서 가장 빈번하게 시행하고 있는 수술법은 최소한의 절개로 정상 조직을 최대한 보존하는 수술법인, 미세 현미경 레이저 요추 디스크 절제술(Open Laser Lumbar Micro-discectomy, OLM)로 [20] 스페인과 미국 출신의 척추전문의들인 Magana 과 Maroon [21]이 그 시초로 알려져 1990년대 초기부터 국내에 도입되어 발전을 거듭하여 현재에 이르고 있다. 본 시술에서는 요추를 부분적으로 조금만 제거한 다음, 고도로 컴퓨터화된 레이저를 환부에 직접 조사하여 요추와 신경을 압박하는 인대를 주변 조직의 손상 없이 제거한다.

2.2.5. 고강도 레이저 치료

고강도 레이저 치료(high-intensity laser therapy, HILT)는 Nd : YAG 레이저의 최신 세대로 [22], 120 μ s 이하의 짧은 펄스 조사를 통해 조직의 온도가 45°C 이상 오르지 않도록 심부에 최대치의 에너지를 전달하는 치료법이다. 기존에 많이 쓰이던 이전 세대 Nd : YAG 레이저는 고 에너지를 조직 깊숙히 침투시키는 것이 불가능하였으나, HILT의 경우 환자 피부의 외상을 전혀 주지 않고 1~2회의 치료로도 급속한 통증의 완화를 가져오는 것으로 알려져 있다. 다이오드 방식의 레이저에 비해 약 1500배 더 강력한 에너지를 발산할 수 있으며 만성 통증이나 급·만성의 근골격계 통증 질환, 관절, 인대질환 외에도 디스크와 어깨통증, 발목, 근막염, 팔꿈치 치료 및 수술 후에 회복을 촉진시키는 데에도 사용된다. HILT는 조직 깊은 부위까지 치료 효과를 발휘하기 때문에, 오랜 시간 동안 호전 상태를 유지할 수 있다는 것이 큰 장점이며, 결과가 오래 지속되는 것이 특징이다. 보통 10분 내외의 치료 시간이 소요되며 주기는 주당 2회씩 2~3주 정도이다.

2.3. 안질환

2.3.1. 당뇨 망막병증

당뇨 망막병증(diabetic retinopathy, DR)은 세계적으로 노동 가능한 성인 연령층(20 ~ 65세)에서 실명의 주요 원인으로 알려져 있다 [23]. 기존의 532 nm 파장을 이용하는 범망막 광응고술(pan-retinal photocoagulation, PRP) 요법은 비증식성 당뇨망막병증(non-proliferative diabetic retinopathy, NPDR)과 [24] 증식성 당뇨 망막병증(proliferative diabetic retinopathy, PDR)에서 [25] 그 효과가 입증된 바 있다. 하지만, 그 효과와는 무관하게 532 nm PRP 레이저 시술은 광수용체(photoreceptor) 손상, 망막색소 상피(retinal pigment epithelium, RPE) 및 전체 망막층을 포함하는 열손상(thermal injury) 등의 심각한 부작용을 일으킬 수 있다 [26]. 그러나, 최근에는 레이저 기술의 발전으로 577 nm의 임계하 마이크로 펄스 레이저(subthreshold micro-pulse LASER) 광촉매 시스템이 신경감각 망막(neurosensory retina)과 맥락막(choroid)에 미치는 영향을 최소화하면서 RPE에 대한 선택적 광촉매 치료가 가능하게 되었다 [27].

레이저에서 나오는 빛은 망막 색소 상피(retinal pigment epithelium, RPE)와 기저 맥락막(basal choroid)에 의해 흡수된다. RPE의 망막 색소는 거의 모든 파장의 빛을 흡수하는데, PRP 치료의 경우에는 주로 황색, 녹색 또는 적색 레이저 광선이 사용된다. 레이저 에너지는 열 에너지로 전환되어 조직 온도를 약 20 ~ 30°C 정도 상승시키고 열화상을 야기, 결과적으로 국소 망막세포괴사 및 응고성 괴사(coagulative necrosis)를 일으킨다 [28]. 시간이 지남에 따라 열 손상을 받은 조직의 부위에는 결국 섬유화가 진행되고 색소가 침착되어(post-inflammatory hyperpigmentation) 레이저 흉터로 인한 흉터가 남게 된다. PRP는 평소에 많이 사용되지 않는 허혈성 외망막을 파괴하여 허혈성 변화가 온 조직을 제거하고, 이는 다시 안구 내 총 VEGF 생성(total intraocular VEGF production)을 감소시켜 신생혈관증식(neovascularization)으로 인한 피해를 최소화하게 된다.

2.4. 호흡기 질환

2.4.1. 특발성 폐 섬유증

특발성 폐 섬유증(IPF)은 예후가 나쁘고 확실한 치료법이 없는 만성 진행성 폐 염증질환이다. 최근 저준위 레이저 치료(low-level LASER therapy, LLLT)가 여러 가지 골관절 질환에서 각광받고 있는데 [29], 이것은 저전력 레이저나 발광다이오드(light-emitting diode, LED)를 신체 표면에 적용하여 통증을 완화되거나, 자극을 통해 세포 기능을 증강시키는 원리를 가지고 있다 (그림 3). 특히 LLLT의 항염증 및 면역 조절 효과가 있다는 것이 많이 알려지면서 폐 염증과 기도 리모델링 등 IPF에서 보이는 '병리현상 또한 LLLT로 치료될 수 있을 것'이라는 가설이 세워지게 되었고 마우스 모델을 중심으로 진행한 한 연구에서 LLLT를 했을 때 염증 세포의 이동과 폐에 있는 교원질(collagen) 섬유의 증식이 모두 감소한 것을 관찰하였다. 또한, LLLT는 염증성 세포자멸사(apoptosis)를 조절하고 섬유아세포(fibroblast)와 폐포(alveoli)로부터 염증 조절성 사이토카인인 IL-10 분비를 통제하는 것으로 나타났으며 폐 간질 내 총 TGF-β 분비량을 크게 감소시켰다.

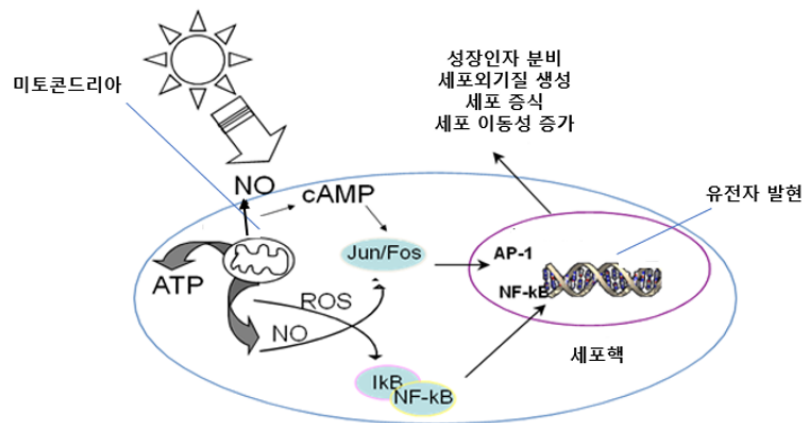


그림 3. 저준위 레이저 치료(LLLT)의 원리.

2.4.2. 만성 폐쇄성 폐질환

만성 폐쇄성 폐질환(chronic obstructive pulmonary diseases, COPD)은 비가역적인 기류 (airflow) 제한, 기도 염증(airway inflammation) 및 폐포 공간(alveolar spaces)의 확대 및 리모델링 (remodeling) 등의 병리학적 특징을 보이는 진행성 폐 질환이다. COPD는 전 세계적으로 사망 원인 상위 5위 안에 항상 포함되는 위중한 질환이며 의료비의 상승으로 국가 차원에서도 큰 경제적 부담을 가중시킨다. LLLT의 COPD에 대한 예방적 치료 효과를 알아보기 위한 한 연구에서는 실험 마우스를 2개월 간 담배 연기에 노출시킨 후, 15일 동안 LLLT 다이오드 레이저를 폐 조직에 조사하였다. 그 결과 LLLT가 폐포 내에서 IL-1 β , IL-6 및 TNF- α 같은 염증성 사이토카인의 분비를 현저하게 감소시켰고 P₂X₇ 수용체의 발현뿐만 아니라 교원질 증식 또한 강력하게 억제한 것으로 나타나 향후 LLLT가 COPD에 대한 유망한 치료법으로 떠오를 것으로 보인다 [30].

2.5. 신경계 질환

2.5.1. 악성 뇌종양

악성 뇌종양의 치료에서는 보통 수술적 절제가 가장 우선시 되며, 그 다음으로는 항암화학요법(anti-cancer chemotherapy, CTx)과 방사선치료(radiotherapy, RT)를 고려하게 된다. 그러나 교모세포종(glioblastoma multiforme, GBM) 같은 악성도가 높은 종양의 수술에서는 비가역적인 신경학적 손상이 유발될 위험성이 있어 CTx와 RT만을 시행하는 경우가 많다. 또한 심한 간경변 환자들은 복수 및 간성 혼수 때문에 수술 대상 자체가 되지 않는다. 또, 병변이 깊거나 다른 내과적 동반 질환, 낮은 MELD 간 기능 점수(Model for End-stage Liver Disease)가 낮은 경우, 전신마취가 불가능한 경우 등에서도 수술적 치료가 적용될 수 없다 [31]. 한편, 1983년 Bown [32] 등이 처음 기술한 레이저 유도 열치료(LASER-induced thermotherapy, LITT)가 최근 크게 발전하면서 그 효율성과 안전성이 대폭 향상되었는데, LITT는 최소 침습적 경피적 시술(minimally invasive percutaneous procedure)로, 섬유 재질의 카테터(catheter)를 통해 목표 조직으로 레이저 에너지를 전달하기 때문에 병변의 선택적인 열 절제가 가능하다 [33].

LITT를 처음 뇌 종양 치료에 적용한 것은 1990년대로, 그 당시 레이저원(LASER source)으로는 Nd : YAG를 사용하였다 [34]. LITT는 현재 종양 절제 및 만성 통증 조절에 사용되며, 고도의 악성 신경교종(high-grade malignant glioma) 및 재발성 전이성 병변의 고식적(palliative) 치료 이외에도 간질(epilepsy), 방사선 괴사(radiation necrosis), 치료 불응성 뇌부종(refractory brain edema), 뇌수막종(meningioma), 뇌실막세포종(ependymoma), 일차 신경막종(primary nerve sheath tumors), 원시 신경외배엽 종양(primitive neuroectodermal tumors), 척색종(chordoma), 혈관모세포종(hemangioblastoma) 등 다양한 종류의 종양을 포함한 많은 뇌 병변의 치료에도 사용된다. LITT는 무선주파 열응고(radiofrequency thermocoagulation), 감마 나이프(γ -knife) 및 포커스 초음파(focused ultrasound)와 같은 다른 뇌정위시술(stereotactic procedures)에 비해 위험도가 낮고 덜 침습적인 병변 절제가 가능한 것이 주요 장점이다. 또한 심부에 위치한 병변 치료 시 대뇌피질(cerebral cortex) 부위의 손상을 예방 또는 최소화 할 수 있으며, 미만성(diffuse) 병변 또는 간질 초점(epileptic focus)의 치료가 가능하다.

2.6. 피부 재생

피부 노화는 일정 시간이 지나면서 모든 사람이 겪는 자연스러운 과정이다. 하지만 이러한 생리적인 현상이 유전적 소인, 환경 노출(자외선, 물리적/기계적 스트레스), 호르몬 변화, 대사 산물(반응성 산소종, 당분, 알데하이드 등 반응성 화학물질의 생산)을 포함한 다양한 요인에 의해 크게 가속화되는 경우가 많다 [35]. 피부 활력을 되찾는 가장 일반적인 방법은 레이저와 다른 특수 광선을 이용하는 것이다. 레이저는 1980년부터 피부 재생용으로 사용되어 왔으며 그 종류에 따라 매우 다양한 범위의 파장(wavelength)가 사용되어 왔다. 고출력(high-powered) 레이저에서 발생하는 열을 통해 피부 박피를 일으켜 재생 효과를 얻는 것이 가장 일반적인 모드라고 할 수 있다. 하지만 이 과정에서 인접한 조직이 손상되는 부작용이 따르기때문에, 최근에는 저전력 레이저가 점차 떠오르는 추세이다. 피부 재생에 주로 이용되는 레이저의 유형에는 크게 박피성(ablative), 비박피성(non-ablative) 및 프락셔널(fractional) 타입이 있다.

박피성 유형의 레이저는 표피에 열에너지를 전달해 손상을 일으키는 작동 메커니즘을 가지며 이전부터 흉터, 색소, 잔주름 등을 치료하는 데 이용되어 왔다. 박피성 레이저들은 교원질(collagen)과 같은 진피의 섬유 단백질(dermal fibrous proteins)을 변성시키고, 새로운 탄력섬유(elastic fibers)의 합성을 자극하여 최종적으로 피부를 탱탱하게 조여주게 된다. 피부 재생에 사용되는 가장 일반적인 박피성 레이저로는 대표적으로 이산화탄소(CO₂)와 Er : YAG (erbium-doped yttrium aluminum garnet) 등을 들 수 있다 [36].

비박피성 레이저는 지난 10년 동안 미용 피부과학에서 괄목할만한 발전을 이루어 현재는 여러 가지 미용 목적 레이저 시술에서 주류로 자리 잡은 상태이다. 이 유형의 레이저들은 일반적으로 박피성 레이저들보다 파괴력이 덜하고 주로 진피에서 교원질 생성을 자극하여 피부의 탄력을 증가시키게 된다. 레이저의 에너지 파장이 표피층(epidermal layer)을 관통하고 진피층(dermal layer)에 전달되어 열에너지로 변환, 진피 교원질 섬유를 응고시키며, 결과적으로 진피 기질(dermal matrix)과 세포외 기질(extracellular matrix)에서 새로운 교원질과 탄력 섬유의 합성이 이루어진다. 비박피성 레이저는 박피성 레이저와 비교하여 흉터나 감염 등의 부작용은 적은 반면 치료 효율성은 약간 낮은 것으로 알려져 있다. 1,319-nm pulsed energy, 1,320-nm Nd : YAG, 1,450-nm diode 레이저 등이 이 카테고리에 속하는 레이저들이다 [37] (표 2).

표 2. 박피성과 비박피성 레이저의 비교.

	박피성 레이저	비 박피성 레이저
작용 부위	표피 전층 및 진피 일부 제거	표피는 온전히 보전
적응증	거친 피부, 잔주름, 색소이상증	고르지 못한 피부, 주름, 색소이상증, 혈관확장, 흉반 등
부작용	소양증, 흉반, 부종, 감염, 흉터 등	경한 흉반, 부종 등
치료 빈도	2 - 4주	수 분 - 수 시간
치료 횟수	수 개월 마다 1회	3- 4주 간격으로 5 - 6회

프락셔널 레이저는 1,410 nm, 1,440 nm, 1,540 nm, 1,550 nm 등의 비박피성과 CO₂-fractional, Er : YAG-fractional 등의 박피성 프락셔널 레이저로 세분할 수 있다 [38]. 프락셔널 레이저는 일반적으로 피부에 깊이 1 ~ 2.5 mm 정도의 미세 열기둥(thermal microchannels)을 만들고 [39], 이를 통해 진피 혈관으로부터 여러 가지 성장 인자(growth factors)의 분비를 유도하여 [40] 흉터 같은 결손 부위나 주름을 개선시키는 메커니즘을 가지고 있다 (그림 4).

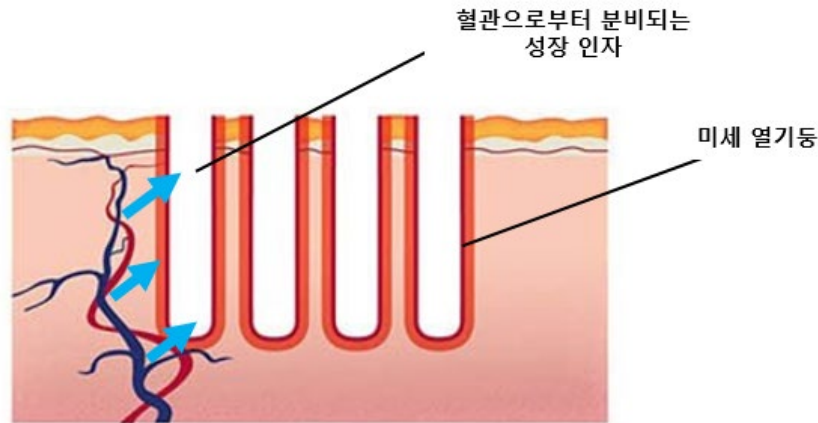


그림 4. 프락셔널 레이저 치료.

2.7. 비만

현재 지방흡입술은 몸의 윤곽을 잡아주는 가장 보편적이고 효과적인 시술이다. 레이저 지방 분해술(LASER-assisted lipolysis)은 사용되는 캐놀라(cannula)의 직경이 작아 출혈과 흉터 형성이 적기 때문에 비만치료 영역에서 점점 더 보편화되고 있다 [41]. 특히 1,320 ~ 1,444 nm의 파장을 가지는 레이저 빔의 경우 지방조직에서 흡수계수(absorption coefficient)가 매우 높아 깊숙한 침투가 가능하다. 또한 조직 손상이 적고 소혈관의 응고 또한 전통적인 방법에 비해 현저한 출혈 감소가 보고되었다 [42].

2006년에는 냉동 지방분해술(cryolipolysis)의 도입으로 비침습적 바디 컨투어링(body contouring)의 시대가 열리게 되었다 [43]. 지방 세포마다 극저온에 대한 감수성이 다른 성질을 이용하여 정상적인 피하지방층(subcutaneous fat layer)은 보존하면서 비후된(hypertrophied) 지방 조직만 선택적으로 파괴할 수 있다는 점이 냉동 지방분해술의 최대 장점이다. 어플리케이션의 양쪽에 위치한 냉각 플레이트 내에 내장된 센서를 사용하여 접촉하는 피부와 피하지방조직의 온도를 0°C 이하로 유지하게 된다. 온도가 -1°C 아래로 내려가면서 부터 지방세포의 염증 반응 및 세포자멸사(apoptosis)를 유도하여 지방층을 점차 감소시킨다 [44]. 냉동 지방분해술의 효과는 즉각적으로 나타나는 것은 아니며 통계적으로 유의한 감소는 치료 후 약 2개월 정도부터 나타나게 된다. 아직 그 기전에 대해서는 정확히 밝혀지지 않은 부분이 많아 좀 더 많은 연구가 진행되면서 더욱 발전할 것으로 기대되는 비만치료의 유망한 신기술로 기대된다.

3. 맺는 말

본 동향 리포트에서 살펴본 것처럼, 레이저 수술은 특정 소수의 임상 분야에서 제한된 상황에서만 사용되었던 과거와는 달리, 오늘날 거의 모든 의학 영역에서 활발히 적용되고 있다. 레이저 수술법은 적은 부작용과 빠른 회복 등의 분명한 장점을 가지고 있지만 다른 한편으로는 (아직은) 높은 치료 비용과 시술자에 대한 의존성(operator dependency), 최적의 파라미터 설정(optimal configuration) 등의 아직 해결되지 못한 문제점을 또한 안고 있는 것이 사실이다. 그러나 향후 더 많은 연구를 통해 현재 통용되고 있는 레이저들의 광학적인 성질과 작용 메커니즘에 대한 우리의 이해가 증가할수록, 그 적용 범위는 훨씬 더 넓어질 것이다. 더불어 빅 데이터(big data)/ 머신 러닝(machine learning) 같은, 제4차 산업혁명(4th industrial revolution)의 핵심 요소들과의 접목이 이루어지면 완전 자동화된 로봇 레이저 수술(completely-automated robotic LASER surgery) 같은 꿈의 기술이 상용화 되는 날도 멀지 않아 보인다.

4. 참고문헌

- [1] Tomé RFF, Silva DFB, Dos Santos CAO, de Vasconcelos Neves G, Rolim AKA, de Castro Gomes DQ. ILIB (intra-vascular laser irradiation of blood) as an adjuvant therapy in the treatment of patients with chronic systemic diseases-an integrative literature review. *Lasers Med Sci.* 2020 Dec;35(9):1899-1907. doi: 10.1007/s10103-020-03100-4. Epub 2020 Jul 12. PMID: 32656732.
- [2] Heidari Beigvand H, Razzaghi M, Rostami-Nejad M, Rezaei-Tavirani M, Safari S, Rezaei-Tavirani M, Mansouri V, Heidari MH. Assessment of Laser Effects on Skin Rejuvenation. *J Lasers Med Sci.* 2020 Spring;11(2):212-219. doi: 10.34172/jlms.2020.35. Epub 2020 Mar 15. PMID: 32273965; PMCID: PMC7118506.
- [3] Weiland T, Fehlker M, Gottwald T, Schurr MO. Performance of the OTSC System in the endoscopic closure of iatrogenic gastrointestinal perforations: a systematic review. *Surg Endosc.* 2013 Jul;27(7):2258-74. doi: 10.1007/s00464-012-2754-x. Epub 2013 Jan 24. PMID: 23340813.
- [4] Vasiniotis Kamarinos N, Kaye EA, Sofocleous CT. Image-Guided Thermal Ablation for Colorectal Liver Metastases. *Tech Vasc Interv Radiol.* 2020 Jun;23(2):100672. doi: 10.1016/j.tvir.2020.100672. Epub 2020 May 25. PMID: 32591188.
- [5] Mohy-Ud-Din N, Krill TS, Shah AR, Chatila AT, Singh S, Bilal M, Parupudi S. Barrett's esophagus: What do we need to know? *Dis Mon.* 2020 Jan;66(1):100850. doi: 10.1016/j.disamonth.2019.02.003. Epub 2019 Feb 23. PMID: 30808502.
- [6] Evans RP, Mourad MM, Fisher SG, Bramhall SR. Evolving management of metaplasia and dysplasia in Barrett's esophagus. *World J Gastroenterol.* 2016 Dec 21;22(47):10316-10324. doi: 10.3748/wjg.v22.i47.10316. PMID: 28058012; PMCID: PMC5175244.
- [7] Lamanna A, Maingard J, Bates D, Ranatunga D, Goodwin M. Percutaneous transhepatic laser lithotripsy for intrahepatic cholelithiasis: A technical report. *J Med Imaging Radiat Oncol.* 2019 Dec;63(6):758-764. doi: 10.1111/1754-9485.12952. Epub 2019 Sep 23. PMID: 31545020.
- [8] Andreeva V, Vinarov A, Yaroslavsky I, Kovalenko A, Vybornov A, Rapoport L, Enikeev D, Sorokin N, Dymov

- A, Tsarichenko D, Glybochko P, Fried N, Traxer O, Altshuler G, Gapontsev V. Preclinical comparison of superpulse thulium fiber laser and a holmium:YAG laser for lithotripsy. *World J Urol.* 2020 Feb;38(2):497-503. doi: 10.1007/s00345-019-02785-9. Epub 2019 May 4. PMID: 31055626.
- [9] Bhatta KM, Rosen D, Watson GM, Dretler SP. Acoustic and plasma guided lasertripsy (APGL) of urinary calculi. *J Urol.* 1989 Aug;142(2 Pt 1):433-7. doi: 10.1016/s0022-5347(17)38779-7. PMID: 2568501.
- [10] Frank F, Eichenlaub M, Hessel S, Wondrazek F. Application systems for intracorporeal laser-induced shockwave lithotripsy using the Nd:YAG Q-switched laser. *J Clin Laser Med Surg.* 1990 Oct;8(5):51-5. doi: 10.1089/clm.1990.8.51a. PMID: 10150126.
- [11] Taratkin M, Laukhtina E, Singla N, Tarasov A, Alekseeva T, Enikeev M, Enikeev D. How Lasers Ablate Stones: In Vitro Study of Laser Lithotripsy (Ho:YAG and Tm-Fiber Lasers) in Different Environments. *J Endourol.* 2020 Jan 29. doi: 10.1089/end.2019.0441. Epub ahead of print. PMID: 31885281.
- [12] Andreeva V, Vinarov A, Yaroslavsky I, Kovalenko A, Vybornov A, Rapoport L, Enikeev D, Sorokin N, Dymov A, Tsarichenko D, Glybochko P, Fried N, Traxer O, Altshuler G, Gapontsev V. Preclinical comparison of superpulse thulium fiber laser and a holmium:YAG laser for lithotripsy. *World J Urol.* 2020 Feb;38(2):497-503. doi: 10.1007/s00345-019-02785-9. Epub 2019 May 4. PMID: 31055626.
- [13] Shaffer B. The holmium:YAG laser in knee arthroscopy. *Operative Techniques in Sports Medicine.* 1998;6(3):147-153
- [14] Pullin JG, Collier MA, Johnson LL, DeBault LE, Walls RC. Holmium:YAG laser-assisted capsular shift in a canine model: intraarticular pressure and histologic observations. *J Shoulder Elbow Surg.* 1997 May-Jun;6(3):272-85. doi: 10.1016/s1058-2746(97)90016-1. PMID: 9219132.
- [15] Kulkarni AV, Kulkarni V, Ruikar P, Alahabade R. Hysteroscopic Adhesiolysis Using Holmium YAG Laser in Patients with Asherman's Syndrome. *Hysteroscopic Adhesiolysis Using Holmium YAG Laser in Patients with Asherman's Syndrome – Easy, Effective & Safe. Journal of Minimally Invasive Gynecology.* 2020 Nov;27(7):S29.
- [16] Fanton GS, Dillingham MF. (1995) 2.1 μm Holmium:YAG Arthroscopic Laser Surgery of the Shoulder. In: Brillhart A.T. (eds) *Arthroscopic Laser Surgery.* Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2468-6_37
- [17] Ariffin MHM, Ibrahim K, Baharudin A, Tamil AM. Early Experience, Setup, Learning Curve, Benefits, and Complications Associated with Exoscope and Three-Dimensional 4K Hybrid Digital Visualizations in Minimally Invasive Spine Surgery. *Asian Spine J.* 2020 Feb;14(1):59-65. doi: 10.31616/asj.2019.0075. Epub 2019 Oct 15. PMID: 31608611; PMCID: PMC7010517.
- [18] Molladavoodi S, McMorran J, Gregory D. Mechanobiology of annulus fibrosus and nucleus pulposus cells in inter-vertebral discs. *Cell Tissue Res.* 2020 Mar;379(3):429-444. doi: 10.1007/s00441-019-03136-1. Epub 2019 Dec 17. PMID: 31844969.
- [19] Asafu Adjaye Frimpong G, Aboagye E, Asafu-Adjaye Frimpong A, Coleman NE, Amankwah P, Quansah A. CT-Guided Percutaneous Laser Disc Decompression for Lumbar Discogenic Radiculopathy-Performance of a Novel Combi-Therapy. *Lasers Surg Med.* 2020 Jun;52(5):419-423. doi: 10.1002/lsm.23149. Epub 2019 Sep 2. PMID: 31475737.
- [20] Kim BJ, Ahn J, Cho H, Kim D, Kim T, Yoon B. Early individualised manipulative rehabilitation following lumbar open laser microdiscectomy improves early post-operative functional disability: A randomized, controlled pilot study. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2016;29(1):23-9. doi: 10.3233/BMR-150591. PMID: 25792303.

- [21] Maroon, JC, Abla, A A. (1986-01-01). "Microlumbar discectomy". *Clinical Neurosurgery*. 33: 407–417. ISSN 0069-4827. PMID 3791810
- [22] Kim K, Kim IS, Cho TH, Seo YK, Hwang SJ. High-intensity Nd:YAG laser accelerates bone regeneration in calvarial defect models. *J Tissue Eng Regen Med*. 2015 Aug;9(8):943-51. doi: 10.1002/term.1845. Epub 2013 Nov 19. PMID: 24254743.
- [23] Shukla UV, Tripathy K. Diabetic Retinopathy. 2020 Aug 10. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020 Jan-. PMID: 32809640.
- [24] Abalem MF, Nazareth Santos Veloso H, Garcia R, Chen XD, Carricondo PC, Cabral Zacharias L, Preti RC. The Effect of Glycemia on Choroidal Thickness in Different Stages of Diabetic Retinopathy. *Ophthalmic Res*. 2020;63(5):474-482. doi: 10.1159/000506381. Epub 2020 Feb 10. PMID: 32036371.
- [25] Lang GE, Stahl A, Voegeler J, Quiering C, Lorenz K, Spital G, Liakopoulos S. Efficacy and safety of ranibizumab with or without panretinal laser photocoagulation versus laser photocoagulation alone in proliferative diabetic retinopathy - the PRIDE study. *Acta Ophthalmol*. 2019 Dec 6. doi: 10.1111/aos.14312. Epub ahead of print. PMID: 31808278.
- [26] Rajagopal S, Madhivanan N, Mayilvakanam L, Nivean P. Choroidal Detachment Following Multi-spot Double Frequency Nd-YAG Retinal Photocoagulation - A Case Report. *J Lasers Med Sci*. 2020 Summer;11(3):345-347. doi: 10.34172/jlms.2020.55. Epub 2020 Jun 21. PMID: 32802296; PMCID: PMC7369548.
- [27] Gawęcki M. Micropulse Laser Treatment of Retinal Diseases. *J Clin Med*. 2019 Feb 13;8(2):242. doi: 10.3390/jcm8020242. PMID: 30781780; PMCID: PMC6406510.
- [28] Alghadyan AA. *Saudi J Ophthalmol*. 2011 Apr; 25(2): 99–111.
- [29] de Brito AA, da Silveira EC, Rigonato-Oliveira NC, Soares SS, Brandao-Rangel MAR, Soares CR, Santos TG, Alves CE, Herculano KZ, Vieira RP, Lino-Dos-Santos-Franco A, Albertini R, Aimbire F, de Oliveira AP. Low-level laser therapy attenuates lung inflammation and airway remodeling in a murine model of idiopathic pulmonary fibrosis: Relevance to cytokines secretion from lung structural cells. *J Photochem Photobiol B*. 2020 Jan;203:111731. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2019.111731. Epub 2019 Dec 4. PMID: 31935633.
- [30] da Cunha Moraes G, Vitoretto LB, de Brito AA, Alves CE, de Oliveira NCR, Dos Santos Dias A, Matos YST, Oliveira-Junior MC, Oliveira LVF, da Palma RK, Candeo LC, Lino-Dos-Santos-Franco A, Horliana ACRT, Gimenes Júnior JA, Aimbire F, Vieira RP, Ligeiro-de-Oliveira AP. Low-Level Laser Therapy Reduces Lung Inflammation in an Experimental Model of Chronic Obstructive Pulmonary Disease Involving P2X7 Receptor. *Oxid Med Cell Longev*. 2018 Mar 4;2018:6798238. doi: 10.1155/2018/6798238. PMID: 29686745; PMCID: PMC5857317.
- [31] Chou HW, Lin MH, Chen YS, Yu HY. Impact of MELD score and cardiopulmonary bypass duration on post-operative hypoxic hepatitis in patients with liver cirrhosis undergoing open heart surgery. *J Formos Med Assoc*. 2020 Apr;119(4):838-844. doi: 10.1016/j.jfma.2019.08.028. Epub 2019 Sep 14. PMID: 31530414.
- [32] Bown SG. Phototherapy in tumors. *World J Surg*. 1983 Nov;7(6):700-9. doi: 10.1007/BF01655209. PMID: 6419477.
- [33] Holste KG, Orringer DA. Laser interstitial thermal therapy. *Neurooncol Adv*. 2019 Dec 16;2(1):vdz035. doi: 10.1093/noajnl/vdz035. PMID: 32793888; PMCID: PMC7415254.
- [34] Vogl TJ, Müller P, Hirsch H, Philipp C, Hammerstingl R, Böttcher H, Riess H, Beuthan J, Felix R. Laserinduzierte Thermotherapie (LITT) von Lebermetastasen unter MRT-Kontrolle. Prospektive Ergebnisse eines optimierten Therapieverfahrens [Laser-induced thermotherapy of liver metastases with MRI control. Prospective results of an optimized therapy procedure]. *Radiologe*. 1995 Mar;35(3):188-99. German. PMID:

7761595.

- [35] Kruglikov IL, Scherer PE. Skin aging as a mechanical phenomenon: The main weak links. *Nutr Healthy Aging*. 2018 Jun 15;4(4):291-307. doi: 10.3233/NHA-170037. PMID: 29951590; PMCID: PMC6004930.
- [36] Verma N, Yumeen S, Raggio BS. Ablative Laser Resurfacing. 2020 Aug 13. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020 Jan-. PMID: 32491406.
- [37] O'Daniel TG. Multimodal management of atrophic acne scarring in the aging face. *Aesthetic Plast Surg*. 2011 Dec;35(6):1143-50. doi: 10.1007/s00266-011-9715-y. Epub 2011 Apr 14. PMID: 21491169; PMCID: PMC3236289.
- [38] Chitgopeker P, Goettsche L, Landherr MJ, Ye A, Johnson-Jahangir H, Ferguson N, VanBeek M. 1550-nm Nonablative Fractional Laser Versus 10,600-nm Ablative Fractional Laser in the Treatment of Surgical and Traumatic Scars: A Comparison Study on Efficacy and Treatment Regimen. *Dermatol Surg*. 2020 Jun;46(6):780-788. doi: 10.1097/DSS.0000000000002152. PMID: 31567609.
- [39] Borges J, Manela-Azulay M, Cuzzi T. Photoaging and the clinical utility of fractional laser. *Clin Cosmet Investig Dermatol*. 2016 May 5;9:107-14. doi: 10.2147/CCID.S77996. PMID: 27217790; PMCID: PMC4861605.
- [40] Lee YI, Kim J, Kim J, Park S, Lee JH. The Effect of Conditioned Media From Human Adipocyte-Derived Mesenchymal Stem Cells on Androgenetic Alopecia After Nonablative Fractional Laser Treatment. *Dermatol Surg*. 2020 Aug 3. doi: 10.1097/DSS.0000000000002518. Epub ahead of print. PMID: 32769526.
- [41] Azadgoli B, Baker RY. Laser applications in surgery. *Ann Transl Med*. 2016 Dec; 4(23): 452.
- [42] Youn JI, Holcomb JD. Ablation efficiency and relative thermal confinement measurements using wavelengths 1,064, 1,320, and 1,444 nm for laser-assisted lipolysis. *Lasers Med Sci*. 2013 Feb;28(2):519-27. doi: 10.1007/s10103-012-1100-9. Epub 2012 Apr 26. PMID: 22534741; PMCID: PMC3586094.
- [43] McBean JC, Katz BE. Laser Lipolysis: An Update. *J Clin Aesthet Dermatol*. 2011 Jul; 4(7): 25-34.
- [44] Yanina IY, Navolokin NA, Bucharskaya AB, Maslyakova GN, Tuchin VV. Skin and subcutaneous fat morphology alterations under the LED or laser treatment in rats in vivo. *J Biophotonics*. 2019 Dec;12(12):e201900117. doi: 10.1002/jbio.201900117. Epub 2019 Oct 3. PMID: 31454458.

The views and opinions expressed by its writers do not necessarily reflect those of the Biological Research Information Center.

한형진(2020). 여러 임상과에서 사용하는 레이저 기법에 관한 최신 동향. BRIC View 2020-T42
Available from <https://www.ibric.org/myboard/read.php?Board=report&id=3669> (Dec. 22, 2020)

Email: member@ibric.org