2025 ASLS 추계학술대회 Review

정전력 방식으로 균질하게 Subpulse Energy를 Control하는 Microneedle RF

강연/황제완(메이린의원 더현대대구점)

지난 10월 12일 코엑스 C홀 및 콘퍼런스룸에서 대한미용성형레이저의학회(대미레, 회장 이민호)의 2025년 추계학술대회가 열렸다. 이번 학술대회는 'ASLS Korea'라는 이름의 국제학술대회로서 국내 의료인을 비롯해 미국과 유럽, 일본, 중국, 태국, 인도네시아 등지의 다양한 미용의학 의료인 및 관계자가 참석하였다. 대미레는 'ASLS, Where Innovation Meets Inspiration'이라는 캐치프레이즈와 함께 앞으로의 미용의학 패러다임을 제시하겠다는 철학을 내비치기도 하였다. 이번 호에서는 안산 잇츠미의원 국지수 원장의 〈정전력 방식으로 균질하게 subpulse energy를 control하는 microneedle RF를 활용한 기미와 홍조 치료 메커니즘〉을 소개한다.



황제완 원장은 QUADESSY에 대해 "정전력으로 subpulse energy를 균질하게 제어해 42~45℃의 저온열을 안정적으로 구현, 기미·홍조에서 진피 리모델링과 색소 치료, 혈관 안정화를 동시에 달성하는 MNRF"라고 평가하였다.

이번 시간에는 '정전력'을 주요하게 다룰 예정이다. 정전력은 전압과 전류를 곱한 값, 즉 전력을 균질하게 유지하는 방식으로 컨트롤하면서 실시간 impedance를 체크하는 새로운 microneedle RF 기술이다. 정전력 기술이 적용된 기기가 QUADESSY이다. 초기 개발 단계부터 임상 자문을 맡아왔는데 QUADESSY가 기미와 홍조 치료에 어떤 원리로 도움이 되는지를 설명하고자 한다.

QUADESSY의 특장점

QUADESSY의 큰 차별점은 비침습적 바이폴라 RF와 micro-needle RF가 함께 포함되어 있다는 점이다. 바이폴라 RF가 bulk heating을 담당하고 이후 니들이 삽입되어 coagulation을 형성하는 방식이다. 바이폴라 RF의 도자가 표피를 bulk heating하면 두 번째 단계에서 니들이 침투해 coagulation을 형성하여 효과를 배가시킨다.

바이폴라와 니들의 효과는 프리셋으로 설정되어 있기도 하지만 시술자가 순서를 조정할 수도 있어 다양한 치료 결과를 만들 수 있다. 기존의 일반적인 니들 RF는 채널링과 coagulation 정도의 효과에 국한되었으나, QUADESSY는 bulk heating을 통한 rejuvenation과 니들링 효과를 동시에 얻을 수 있다.

'파워'의 개념을 강조하고 싶다. 레이저에서의 파워는 광자의 양, 즉 포톤(photon)의 수라고 할 수 있지만, 전기적 에너지에서는 전력을 의미한다. 전력은 전압(voltage, V)과 전류(current, I) 의 곱이다. 즉, P=V×I이며, V=I×R이라는 옴의 법칙(Ohm's law)을 적용하면 저항값(impedance)의 변화에 따라 전압과 전류가 일정하지 않게 변한다는 것을 알 수 있다.

많은 RF 기기가 실시간으로 impedance를 체크해 과도한 열로 인한 화상이 생기지 않도록 전력의 최댓값을 제한한다. Impedance가 높아질수록 출력 전압을 자동으로 낮추는 구조이다. 이 경우 impedance가 높은 영역에서는 부작용을 줄일 수 있지만, 반대로 impedance가 낮은 구간에서는 출력이 낮아져 효과가 떨어지곤 한다. 하지만 기미나 홍조 치료에서는 낮은 에너지 영역에서의 균질한 에너지 전달이 가장 중요하다. QUADESSY는 전압과 전류를 동적으로 제어하여 전력을 일정하게 유지(정전력 방식)한다. 어떤 impedance 조건에서도 균질한 에너지를 피부에 전달할 수 있는 것이다. Impedance 체크 후에는 어떤 저항값에서도 동일한 전력으로 유지된다. 자체 실험 결과 일반적인 RF 기기에서는 impedance에 따라 온도 상승 곡선이 들쭉날쭉하지만, QUADESSY에서는 온도가 균일하게 상승하는 그래프를 보였다. 이와 같은 실시간 impedance 매칭을 구현할 수 있는 기기는 많지 않다. QUADESSY는 도자와 니들을 사용할 때 모두 impedance를 체크한다.

QUADESSY는 펄스를 멀티로 쪼개어 에너지를 전달한다. 멀티 펄스일 때의 총에너지를 싱글 펄스로 전달하면 overheating으로 인해 조직 손상이 발생할 수 있으나, 펄스를 쪼개어 나누면 균질하고 부드러운 coagulation zone이 형성되어 rejuvenation 효과가 향상된다.

최근에는 drug delivery를 활용한 시술이 많이 이루어지고 있다. QUADESSY는 double depth 모드를 활용하여 효과적인 drug delivery도 가능하다. 말 그대로 두 번 니들링하는 것이다. 보통은 니들이 한 번 침투한 자리에 channeling이 형성되고, 그 통로에 negative pressure가 걸리면서 도포해 둔 약물이 피부 안으로 침

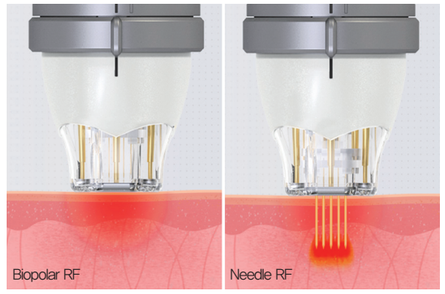
투하게 된다. 그런데 두 번째 니들링을 추가로 시행하면 약물이 훨씬 더 깊이 들어간다.

이때 흥미로운 점은 어느 타이밍에 깊게 찌르느냐에 따라 흡수율이 달라진다는 것이다. 처음부터 깊게 찌르는 것보다, 첫 번째는 얕게 찌르고 두 번째를 깊게 찌르는 방식이 약물 흡수가 훨씬 높다. 즉, 첫 번째 니들링으로 얕은 채널을 만들어 음압으로 약물을 침투시키고, 두 번째 깊은 니들링으로 그 약물을 더 깊은 층으로 밀어 넣는(push-in) 효과를 내는 것이다.

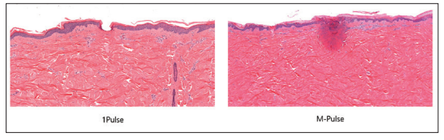
'없애는 치료'에서 '복원하는 치료'로

예전에 남성 기미 환자를 치료한 적이 있다. 진한 기미가 고민인 환자로 여러 번의 레이저 치료가 필요한 수준이었다. 해당 환자를 1~2주 간격으로 0.3㎜ microneedle RF를 적절한 에너지(제네시스 테크닉 수준)로 8주 동안 시행하고, 그 사이 레이저는 단 두 번만 병행했다. 그 결과 2개월 만에 매우 드라마틱한 호전을 보였다.

조직학적으로 분석하기 위해 조직을 살펴보았다. 치료 전 조직의 Fontana-Masson stain 결과 basal layer에 멜라닌이 증가되어 있었고, pendulous melanocytes와 dermal melanophage가 관찰되었는데 치료 후에는 이들이 뚜렷하게 감소하면서 색소침착이 완화된 소견을 보였다. H&E 및 IHC(immunohistochemistry) 분석에서는 ECM(Extracellular Matrix)이 증가하였음이 확인되었다. 또한 ILC를 통해 collagen type Ⅰ과 collagen type Ⅲ의 변화를 관찰하였는데, collagen type Ⅰ은 전반적으로 증가하였고, collagen type Ⅲ는 약 300㎛ 깊이, 즉 basement membrane 바로 아래에서 특히 많이 증가하였음이 확인되었다.



QUADESSY는 MCSD(Multi-Channeling Selective Delivery) 방식을 통해 RF 에너지를 침습 및 비침습 형태로 순차적으로 교차 전달하여 효율적으로 고주파 에너지를 전달하고, 더불어 시술 통증을 감소시키는 효과를 기대할 수 있다. 클래시스 제공.

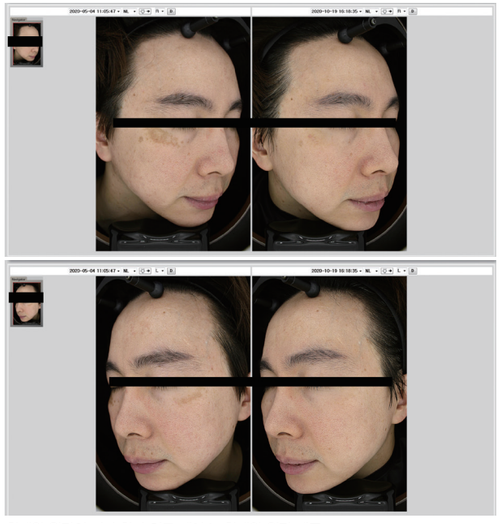


Single pulse와 multi pulse 조건에 따른 조직 반응 비교. 왼쪽의 single pulse(20%, 70ms, 1.5㎜, 비침습 60%, 80ms)에서는 표피 및 진피 상층부의 ablation이 관찰된다. 오른쪽의 multipulse(6%, 20ms × 5 pulse, 0.8㎜, 비침습 60%, 80ms)에서는 주변으로 균일한 coagulation zone만 형성되어 열 손상 없이 안정적인 진피 리모델링 반응이 확인된다. 클래시스 제공.

콜라겐 증가는 단순한 구조적 재생뿐 아니라 물리적 완충작용과 항산화 효과를 동시에 제공한다. 멜라닌이 스스로 항산화 기능을 담당해야 하는 부담을 덜어주어 멜라닌 생성의 과도한 활성화를 막는다. 그 결과, 강한 레이저 조사 후에도 회복이 빠르고 부작용이 적은 진피 환경이 형성된다. 그 밖에도 basement membrane 아래로 늘어져 있던 pendulous melanocytes가 collagen remodeling에 의해 완충, 지지되어 정상적인 위치로 복귀하는 양상을 보였다.

결국 멜라닌이라는 것은 keratinocyte의 핵을 자외선으로부터 보호하기 위해 생긴 방어 기전이다. 즉, 피부는 자외선으로 인한 손상에 대응하기 위해 항산화 반응을 일으키는데 항산화제가 충분하면 염증이 빠르게 종료되고, 부족하면 염증이 지속된다. 급성 염증 상태에서 항산화제가 부족하면, 피부는 '염증이 끝나야 하는데 항산화제가 부족하다'라는 신호를 보낸다. 그러면 피부는 멜라닌을 더 만들어 항산화 작용을 대신하도록 한다. 바로 PIH이다. 따라서 염증 스트레스를 완화하는 방향으로 치료해야지, 강한 레이저로 색소를 억지로 제거하면 오히려 염증이 심해져 악화될 수 있다.

하지만 만성 염증 상태에서는 이야기가 조금 다르다. 호르몬 불균형이나 지속적인 피부 스트레스 등 여러 원인으로 피부에 만성 염증이 생기면, 그에 대한 방어 기전으로 멜라닌이 침착된다. 우리가 흔히 말하는 기미이다. 역시 이 방어 기전으로 생긴 멜라닌을 단순히 '없애야 할 대상'으로 보고 레이저를 강하게 조사하면, 일시적으로 색소가 옅어지는 듯 보이지만 결국은 더 악화되거나 재발한다. 단순히 멜라닌을 없애는 것이 아니라 피부의 항산화 시스템 자체를 복원해야 하는 이유이다.



황제완 원장의 기미 환자 치료 케이스. 황제완 원장 제공.

영유아의 피부에는 collagen type Ⅲ가 매우 풍부한데 이 콜라겐이 바로 항산화 기능을 대신해 주기 때문에 아이들에게는 기미가 생기지 않는다. 결국 papillary dermis의 collagen type Ⅲ를 충분히 재생시키는 과정이 멜라닌의 과잉 생성을 막고, 레이저 후 리바운드나 PIH를 최소화하는 핵심이다.

진피 색소화 과정과 개선

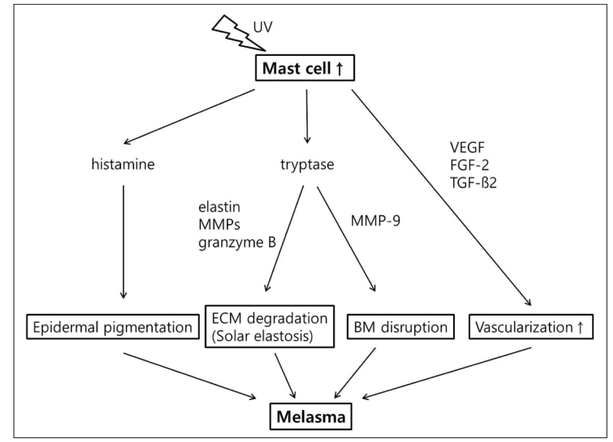
항산화제는 전자를 전달하는 물질이다. 즉, 전자(electrons)를 전달하여 상대 물질을 환원시키고, 자신은 산화된다. 이 말은 곧 에너지를 전달한다는 뜻이다. 우주에서의 모든 에너지는 전자의 흐름, 전자기력(electromagnetic force)에서 비롯된다. 피부의 경우 표면은 음전하(negative charge), 내부는 양전하(positive charge) 상태로 존재한다. 정상적인 상황에서는 전류가 흐르지 않지만, 상처가 나면 전하 분포가 깨지면서 전류가 흐르기 시작한다.

이 전류로부터 발생하는 에너지가 wound healing을 유도한다. 그런데 상처가 완전히 아물기 전에 내부 전위가 다시 양전하로 변하면, 만성 전위 불균형 상태가 된다. 우리가 각종 스킨부스터나 needling 등으로 자극을 주는 것은 결국 전기적 신호를 재활성화하여 치유 전류를 회복시키려는 것이다.

지금까지는 조직 수준에서의 이야기였다. 세포 수준으로 들어가면, 세포막(cell membrane)에도 전위차가 존재한다. 예를 들어 fibroblast의 경우 평소 약 60㎷ 정도의 전위차가 유지되는데, 활성화되면 이 전위차가 30㎷로 감소한다. 감소한 만큼의 전위를 사용하여 활성화된 것이다. 그러나 이 상태를 계속 유지할 수는 없다. 섬유아세포는 acidic proteoglycan matrix를 분해하면서 ECM으로부터 전자를 공급받아 음전류(negative current)를 만든다.

이 과정에서 콜라겐 합성과 항산화 작용이 일어난다. 그런데 기미 환자들의 진피는 광노화(solar elastosis)로 인해 환경적으로 전자 공급이 원활하지 않다. 따라서 제네시스 테크닉과 같은 치료나 RF를 통한 rejuvenation을 통해 진피의 전기적·생화학적 환경을 개선해야 한다. 즉, 기미치료의 본질은 색소 제거가 아니라 진피의 rejuvenation이다. 색소만 없애면 결국 악순환이 반복된다.

기미치료가 어려운 이유 중 하나는 mast cell 때문이기도 하다. Mast cell이 분비하는 MMP-9(Matrix Metalloproteinase-9)이 collagen type Ⅳ를 분해하면서 basement membrane을 약화시키고, 그 결과 pendulous melanocyte가 아래로 처진다. 이 melanocyte에서 방출된 melanosome을 melanophage가 포식하게 된다. 이러한 구조적 변화를 동반한 색소 질환—특히 눈가 주변의 기미나 색소침착—은 결국 epidermal basal layer, pendulous melanocyte, dermal melanophage의 세 층을 모두 복원해야 완전한 치료가 가능하다. 기미치료에서 레이저 토닝을 약하게 하면 효과가 없고, 반대로 강하게 하면 오히려 악화된다. 단순히 색소를 없애는 것이 아니라, 진피 환경을 개선시키면서 색소를 조절하는 방향으로 가야 한다.



The role of mast cells in melanogenesis and photoaging. UV= ultraviolet; MMPs = matrix metalloproteases; VEGF = vascular endothelial growth factor; FGF-2 = fibroblast growth factor-2; TGF-β = transforming growth factor-β; ECM = extracellular matrix; BM = basement membrane. 출처 : Heterogeneous Pathology of Melasma and Its Clinical Implications, Soon-Hyo Kwon, Young-Ji Hwang, Soo-Keun Lee, Kyoung-Chan Park, Int. J. Mol. Sci. 2016, 17(6), 824; https://doi.org/10.3390/ijms17060824.

피부 색소는 keratinocyte, melanocyte, macrophage 등 여러 세포에 존재할 수 있다. 진피층 색소에는 크게 두 가지 유형이 있다. 하나는 오타모반, 즉 melanocyte가 진피에 존재하는 케이스이고, 다른 하나는 기미로 진피 내에 melanophage가 존재하는 케이스이다. Melanocyte는 본래 표피세포이기에 진피로 떨어져 있으면 면역학적으로 비정상적 세포로 인식된다. 이때 이 세포는 주변 조직과의 경계를 형성하기 위해 단단한 막으로 둘러싸이게 되며, 이를 제거하려고 강한 에너지를 주면 주변 혈관이 손상되어 PIH가 생기기 쉽다.

Papillary Dermis와 치료 적정 온도

오타모반은 주변 조직이 콜라겐으로 구성되어 있다. 그래서 Ruby Laser로 강하게 조사해도 출혈이 잘 생기지 않는다. 콜라겐 조직이 물리적인 완충작용을 해주기 때문이다. 콜라겐이 분해되면 collagen peptide로 바뀌는데, 이 펩타이드 자체가 강력한 항산화 물질이다. 따라서 멜라닌이 굳이 항산화 기능을 대신할 필요가 없

어지는 것이다. 반면, ABNOM은 주변에 혈관이 많다. 레이저를 강하게 조사하면 혈관이 터지면서 피하 출혈이 생기고, 그로 인해 염증—PIH—재색소화로 이어지는 악순환이 발생한다.

콜라겐 펩타이드의 항산화 효과를 주목할 만하다. 예를 들어 해파리에서 추출한 콜라겐 펩타이드는 멜라닌 생성을 억제하고, tyrosinase 활성도를 저하시키며, glutathione 생성을 증가시킨다. 자연스러운 멜라닌 억제 흐름이다.

내가 임상에서 사용하는 Q-switched Nd:YAG Laser, Long-pulsed Nd:YAG Laser 기반의 Kaiser Method도 같은 원리를 따른다. 기미가 악화되어 내원한 환자에게 2주 간격으로 5회 정도 시술했는데, 기미가 호전되었을 뿐 아니라 피부결이 현저히 좋아졌다. Papillary dermis에서 collagen type Ⅲ이 현저히 증가했기 때문이다. 결국 42~45℃ 정도의 온도에서 papillary dermis를 균일하게 가열하여야 한다는 것이다. 콜라겐 재배열과 재생이 촉진되는 온도로서 피부의 항산화 환경이 회복된다. 레이저로도 가능하고, RF로도 가능하다.

온도를 42~45℃로 조절하면 basement membrane 아래쪽에 collagen type Ⅲ이 잘 형성된다. 레이저든 RF든 너무 강하게 coagulation을 유도해 비가역적 손상(irreversible change)을 만드는 것이 아니라, reversible change, 즉 가역적 열반응(thermoreversible reaction)을 유도해야 한다. 이 온도 범위에서는 세포 사멸이 necrosis가 아닌, apoptosis 형태로 일어나기에 기미나 홍조 환자에게서 안전하고 효과적으로 진피 rejuvenation을 유도할 수 있다.

홍조도 마찬가지다. 홍조 환자에게 RF를 강하게 시행하면, 열감을 식혀도 시간이 지나면 오히려 더 심해질 수 있다. 홍조가 심해진다는 것은 혈관이 확장된 상태를 의미한다. 여기에 42~45℃의 치료를 반복하면 확장된 혈관이 점차 안정화된다. 10년 이상 지속된 만성 홍조도 개선될 수 있다.

혈관 역시 멜라닌과 마찬가지로 '나쁜 것'이 아니라 방어 기전의 산물이다. 피부에 염증이 생기면, 그 염증 부위로 산소와 면역물질을 공급하기 위해 혈관이 형성된다. 문제는 염증이 해결되지 않으면 혈관이 과잉으로 남는다는 점이다. 그 결과 미세혈관들이 가지(branch)를 내고 모여서 홍조를 형성한다.

하지만 42~45℃의 적절한 온도 자극으로 치료하면, 먼저 큰 메인 혈관의 내피세포가 강화되어 혈관벽이 튼튼해지고 혈류 공급이 원활해진다. 미세한 branch 쪽 혈관들에는 상대적으로 전단응력(shear stress)이 줄고, 혈류가 원활하지 않게 된다. 혈류가 부족해지면 세포는 더 이상 자극을 받지 못하고 결국 apoptosis로 소멸한다. 즉, 균일한 저온열 자극을 통한 선택적 혈관 안정화와 미세혈관 소거가 홍조치료의 핵심 원리이다.

혈관의 shear stress는 혈관 생존 메커니즘의 핵심이다. Shear stress가 사라지면 세포는 자연스럽게 apoptosis로 진행된다. 생리적으로 불필요해진 미세혈관은 스스로 소멸하는 것이다. 메인 혈관이 충분히 강하고 안정적으로 혈류 공급을 담당하면, 그 위로 가지처럼 생겨 있던 미세혈관들은 필요하지 않다. 홍조치료에서 정상화된 혈관 패턴을 만드는 기전이다.

이 기전이 제대로 이루어지려면 에너지를 균질하게 전달하는 기술, 즉 앞서 언급한 정전력 방식이 필수이다. 에너지가 일정하게 유지되어야 thermal stress도 균일해지고, 조직 손상 없이 이상적인 rejuvenation 반응을 유도할 수 있다.

에너지의 균질함이 결과의 일관성으로

내가 기술 개발에 참여할 때 가장 어려웠던 부분이 바로 정전력에 핵심이 되는 energy cruise control 개념이었다. 기존 기기들은 전압이나 전류의 변동이 커서 일정한 출력을 유지하기가 어려워서 결과가 들쭉날쭉했다. 나는 임상실험에서 기미나 홍조 치료에서는 강한 에너지를 쓰지 말고 100% 균질한 에너지가 될 수 있도록 해보자고 접근했다. 그렇게 최적의 출력을 찾다 보니 30~50% 출력 구간이 가장 안정적이었다. 임상적으로도 이 구간에서 가장 좋은 결과를 얻었다. 기미는 약 6개의 subpulse, 홍조는 약 8개의 subpulse로 세팅했을 때 결과가 가장 좋았다. 온도는 약 42~45℃ 범위에서 일정하게 유지되었고, 진피 내 열 손상 없이 균일한 coagulation zone이 형성되었다.

기미 환자의 경우에는 0.3㎜ 깊이와 약 30% 수준의 출력으로 치료하였다. 팁은 비절연 타입을 사용했다. 2주 간격으로 4회 시술 후 바이폴라 RF 도자가 있는 팁으로 1회 시술하여 마무리했다. 레이저는 병행하지 않았음에도 기미와 홍조 모두 호전되었다.

홍조 환자의 경우에는 0.5㎜ 세팅으로 시술했다. 도자의 두께(약 0.2㎜)를 고려하여 papillary dermis에 정확히 도달하도록 조정한 것이다. A-pulse 모드로 단 1회만 시술했는데도 홍조와 색조 모두 개선되었다. 도자가 있는 팁을 사용하는 이유는 비침습 바이폴라 RF에 의한 bulk heating 효과를 병행하기 위함이다. 진피 전반의 온도를 균일하게 상승시켜 rejuvenation 효과가 극대화된다.

물론 기존의 기기들도 좋은 효과를 낼 수 있을 테지만, 정전력 방식으로 subpulse energy를 균질하게 제어하는 QUADESSY 시스템은 더 짧은 시술로도 더 높은 효과를 기대할 수 있다. 즉, 균질한 에너지 제어가 가능한 기기를 활용하면 진피 리모델링, 색소 조절, 혈관 안정화가 모두 동시에 이뤄진다.

글/오제현 기자 사진/민영주 기자