

Functional improvements in traumatic scars and scar contractures using an ablative fractional laser protocol

Peter R. Shumaker, MD, Julia M. Kwan, MD, John T. Landers, MD,
and Nathan S. Uebelhoer, DO, San Diego, California

BACKGROUND:	Reports describing the use of ablative fractional resurfacing (AFR) for cosmetic improvements in skin dyschromia, rhytides, and textural irregularities are becoming increasingly common in the literature. However, there is little mention of its functional impact on patients with traumatic scars and scar contractures. We present our experience treating scars with AFR, highlighting four illustrative cases and providing a review on possible mechanisms.
METHODS:	Up to three ablative fractional carbon dioxide laser treatments were performed at 1-month to 2-month intervals on four patients with functional deficits related to refractory scar contractures. Treatments were individualized and began as early as 2 months after injury or final reconstructive surgery. Cases were performed in the outpatient clinic using topical anesthetic supplemented by forced air cooling. Postprocedure care included diluted-vinegar compresses two to three times daily and application of ointment over the treatment area for approximately 3 days after the procedure. Postprocedure pain was minimal, and all patients were allowed to resume physical therapy as early as the day of treatment.
RESULTS:	AFR was well tolerated without serious complications. Durable and cumulative improvements in range of motion or overall skin functionality were noted in all patients. AFR can be surgery sparing and facilitated earlier return to full or modified activities based on associated injuries.
CONCLUSION:	AFR is a novel, well tolerated, and effective complement to traditional rehabilitative management for patients with traumatic scars and scar contractures. Potential paradigm shifts include earlier initiation of treatment and a focus on functional improvements. (<i>J Trauma Acute Care Surg.</i> 2012;73: S116–S121. Copyright © 2012 by Lippincott Williams & Wilkins)
LEVEL OF EVIDENCE:	Therapeutic study, level V.
KEY WORDS:	Laser; fractional; ablative; scar; contracture.

Since its introduction in 2007, ablative fractional resurfacing (AFR) has gained popularity in the cosmetic improvement of multiple skin conditions including rhytides, dyschromia, and even acne, surgical, and burn scars.^{1–5} Incidental improvements in associated scar contractures have been noted in a few cases, but very little has been reported specifically addressing functional improvements associated with AFR.^{6,7}

After a decade of conflict, the population of wounded warriors with disfiguring and disabling scars has increased tremendously. In an effort to more effectively address the specific aesthetic and functional requirements of these patients, the Department of Dermatology at the Naval Medical Center in San Diego established a scar clinic under the auspices of the medical center's comprehensive aesthetic recovery effort. The initial clinical observations of the authors suggest that AFR is associated with consistent efficacy and an excellent safety profile in a wide range of applications in scar management. In an effort to introduce this novel technique to a broader audience and stim-

ulate further inquiry, we present four disparate cases that illustrate the potential flexibility and functional impact of AFR after traumatic injury.

PATIENTS AND METHODS

Four male patients with debilitating scar contractures underwent a treatment protocol based on AFR (Table 1). At the time of initial assessment, all patients were engaged in a comprehensive rehabilitation program that included appropriate intensive physical and occupational therapy, professional wound care, and other conventional treatments. Patients were referred for evaluation in dermatology with residual functional deficits caused by scar contractures in the context of a significant month-to-month deceleration or plateau in their improvement as observed by their respective therapists. Patients with significant scar hypertrophy were considered for adjunctive steroid therapy, and patients 2 and 4 received focal injections of triamcinolone acetonide at a concentration of 40 mg/mL approximately 2 weeks to 4 weeks after a session of AFR. Patient 3 received topical application of silver nitrate to a focal area of excessive granulation tissue concurrently with AFR in adjacent skin.

AFR PROTOCOL

All treatments were performed in the clinic without sedation or systemic pain medication. Topical anesthetic (LMX, Ferndale Laboratories, Inc., Ferndale, MI) was applied under occlusion for 60 minutes to 90 minutes before treatment. Local

From the Department of Dermatology, Naval Medical Center, San Diego, California. The general content of this article was presented at the plenary session of the Advanced Technology Applications in Combat Casualty Care (ATACCC) annual meeting, Fort Lauderdale, Florida, in August 2011.

The views expressed in this article are those of the authors and do not reflect the official policy or position of the Department of the Navy, Department of Defense, or the US Government.

Address for reprints: Peter R. Shumaker, MD, Department of Dermatology, Naval Medical Center, 34800 Bob Wilson Dr, Suite 300, San Diego, CA 92134; email: peter.shumaker@med.navy.mil.

DOI: 10.1097/TA.0b013e318260634b

TABLE 1. Clinical Profile of Patients and Outcomes After Ablative Fractional Laser Treatment

Case	Age, y	Sex	Type of Injury	Location of Scar/ Contracture	Functional Impairment	Approximate Time After Injury/Final Surgery	Outcomes (No. Treatments)
1	25	M	Gasoline burn	Left upper extremity across antecubital fossa over dorsal wrist and hand	Impaired extension at elbow; inability to make fist; impaired gripping ability of hand	4 mo	Postprocedure day 10: significantly increased mobility of hand 6 wk: near reference range of motion and grip ability of hand 4 mo: regained essentially complete hand function (two treatments)
2	24	M	Thermal injury	Left leg extending from lateral hip to calf across knee	Limited extension of leg; impaired walking	5 mo	Postprocedure day 3: 12 degrees increased extension of leg; scheduled scar revision cancelled 6 mo: normalization of walking (two treatments) 2 y: persistent improvement
3	22	M	Improvised explosive device blast with bilateral above knee amputation	Left amputation stump	Poor skin mobility with car invagination; skin fragility with chronic erosions/ulcers; excessive granulation tissue; nability to tolerate leg prosthesis	2 mo	Postprocedure day 10: increased pliability and softening of scars; interval healing of erosions/ulcers 3 wk: continued improvement in scar texture, pliability, wound healing; tolerating prosthesis well and increasing time in physical therapy 3 mo: excellent scar pliability, durability; full participation in prosthetic rehabilitation (two treatments plus silver nitrate to granulation tissue)
4	20	M	Gunshot wound with laparotomy and inguinal dissection	Torso, 20 cm vertical linear hypertrophic, contracted scar extending along the midline abdomen and groin	Difficulty standing up straight, laying flat, and moving from a sitting to standing position due to scar contracture across abdomen; pain	4 mo	Postprocedure day 14: softening of scar with increased mobility, decreased pain 3 mo: interval scar flattening; continued resolving pain and mobility (two treatments alternating with intralesional triamcinolone acetonide) 9 mo: continued improvement and mobility (four treatments)

infiltration of a standard solution of 1% lidocaine with epinephrine was performed as needed in focal hyperesthetic areas. During the procedure, a forced cold air cooling system (Zimmer MedizinSystems, Irvine, CA) was used as needed to further reduce discomfort.

After appropriate informed consent was obtained, treatments were performed using a 10,600-nm CO₂ laser with a microablative fractional hand piece attachment (Deep Fx, Ultrapulse Encore, Lumenis, Santa Clara, CA) and were individualized depending on a variety of factors such as scar thickness, degree of healing, location, and the presence of irregularities in texture and pigmentation. Treatments were delivered using a single pass, single pulse, without overlap over the entire scar sheet (Fig. 1). Pulse energies were proportional

to the desired treatment depth (up to approximately 2 mm), and ranged from 17.5 mJ to 50 mJ, depending primarily on scar thickness as estimated by palpation. Treatment density ranged from 5% to 15%, with higher pulse energies necessitating a concomitant decrease in density.

POSTPROCEDURE CARE

A thin layer of petroleum-based ointment was applied, and the treatment area was dressed for convenience with non-stick pads secured with an elastic wrap. Diluted-vinegar compresses were directed for 15 minutes to 20 minutes, two to three times daily, followed by reapplication of ointment, for the first 48 hours to 72 hours postoperatively. Treatments were performed



Figure 1. Immediate appearance of treated skin after AFR. Fractional microcolumns appear as pixelated crusts in a stamped pattern on the skin surface.

at approximately 1-month to 2-month intervals, and concurrent physical therapy resumed as early as the day of treatment.

RESULTS

AFR patient characteristics and outcomes are summarized in Table 1. Treatments were well tolerated, with mild brief discomfort during the procedure and minimal postprocedure sunburn-like pain and itch. Within minutes of the procedure, the skin often demonstrated mild erythema with a focal wheal and modest serous discharge with occasional temporary pinpoint bleeding that resolved spontaneously within minutes of treatment. All patients reported subjective improvements beginning within the first 1 week to 2 weeks of their initial treatment including interval wound healing (patient 3) and increased range of motion (patients 1, 2, and 4). Benefits common to all patients included enhancements in scar pliability, texture, color, and overall appearance. Improvements were durable and cumulative with subsequent treatments.

Patient 1 experienced extensive burns approximately 4 months before presentation, but he was doing well at his presentation with the exception of a progressively worsening band-like scar contracture extending from the left anterior axillary vault, across the antecubital fossa, and over the dorsal wrist and hand. The resulting inability to make a complete fist limited participation in his primary occupation as a chef. He

underwent AFR limited to the contracted areas and demonstrated a visible increase in range of motion of his left hand with improved grip by his first follow-up on day 10 after his initial treatment (Fig. 2A and B). At his follow-up visit on week 6, the patient reported continued improvement in his range of motion and grip ability to the point that he had been able to resume cooking again. A second similar treatment was performed, and by the fourth month after his initial AFR treatment, the patient had regained essentially full range of motion of the hand.

At the time of his initial assessment and laser treatment, patient 2 was scheduled by another service for scar release and skin grafting to correct a refractory scar contracture across his lateral left knee. At follow-up 3 days after his first AFR procedure, he was noted to have 12 degrees of increased extension and complete re-epithelialization of a chronic erosion (Fig. 3A and B). The results of his initial treatment were sufficiently promising that his scheduled surgical scar revision was cancelled. A second AFR treatment was performed, and the patient reported gradual increases in range of motion until he had regained essentially full range of motion by 6 months after his initial treatment. At follow-up approximately 2 years after his initial AFR treatment, the patient demonstrated sustained improvement and normalization of activity (Fig. 3C).

Patient 3 required extensive split-thickness skin grafting on his left amputation stump in the acute phase of his treatment. At initial presentation in the dermatology clinic, the patient was unable to participate in prosthetic rehabilitation of his left leg, owing to extensive contractures with skin fragility, multiple nonhealing erosions and ulcers, and a large area of excessive granulation tissue unresponsive to multiple previous applications of silver nitrate and wound care alone (Fig. 4A and B). At approximately 3 weeks after his initial AFR treatment, the patient demonstrated significant interval improvements in wound healing, skin pliability, and durability, which enabled him to initiate prosthetic use (Fig. 4C). At the time of his second AFR treatment approximately 3 months after his initial treatment, the patient demonstrated progressive improvements, and he was fully engaged prosthetic rehabilitation including extensive periods of walking (Fig. 4D and E).

Patient 4 presented to the dermatology clinic with debilitating contracted and hypertrophic midline abdominal and left inguinal scars (Fig. 5A). At follow-up approximately 2 weeks after his initial AFR treatment, there was decreased visible

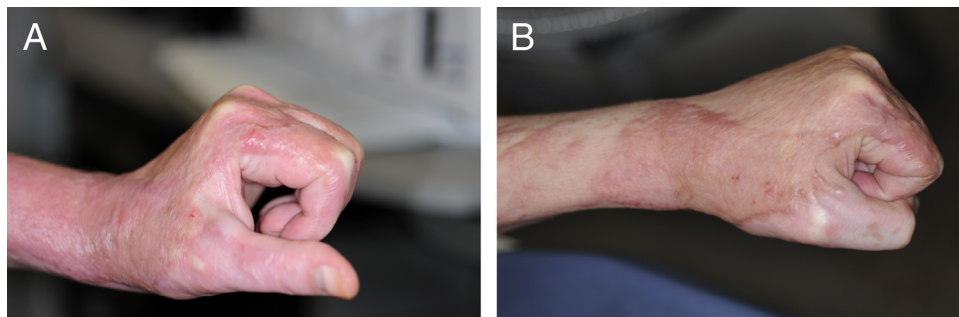


Figure 2. A, Patient 1 demonstrates limited ability to make a fist before AFR owing to traumatic scar contractures over the dorsal wrist and hand. B, Patient 1 with increased mobility and improved grip 10 days after his first AFR treatment.



Figure 3. A, Patient 2 with decreased extension of the left knee owing to scar contractures. Note the erosion in the central portion of the contracture. B, Patient 2 with increased range of motion 3 days after his initial AFR treatment. Note interval healing of the previous erosion. C, Patient 2 with progressive and sustained improvements in range of motion approximately 2 years after his initial treatment.

contracture combined with a subjective improvement in mobility. Owing to the degree of hypertrophy of the abdominal scar, intralesional triamcinolone acetonide was added to the regimen, and the patient received two cycles of AFR followed 2 weeks later by intralesional triamcinolone acetonide in an

alternating regimen. Approximately 3 months after his initial AFR treatment, the patient had excellent symptomatic improvement as well as notable scar flattening and decreased contracture. Two additional AFR treatments were performed at 6-week intervals, but instead of intralesional injections, a

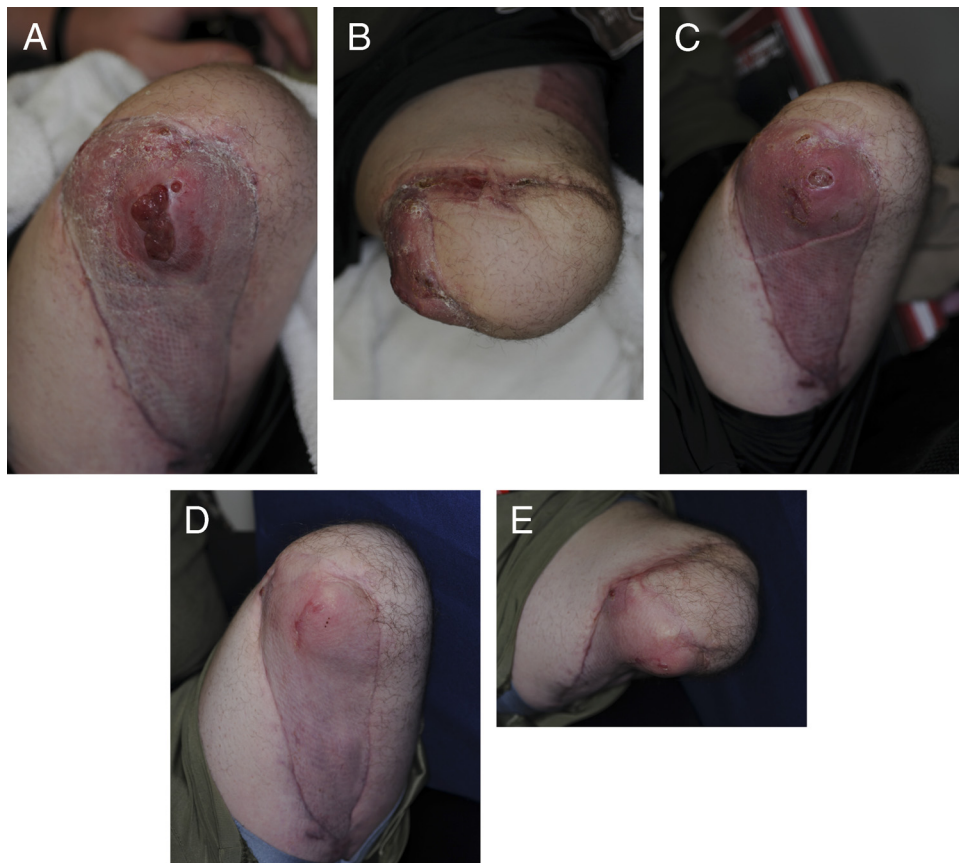


Figure 4. A, Amputation stump of patient 3 before his first AFR treatment, demonstrating scar contractures with skin invagination, chronic erosions and ulcers, marked textural irregularities, and a large area of excessive granulation tissue. B, Anterior and distal aspects of the amputation stump of patient 3 before AFR treatment. C, Three weeks after his initial AFR treatment, patient 3 demonstrates rapid interval wound healing and skin enhancement. D, Patient 3 demonstrates significant interval improvements in skin pliability, texture, color, and wound healing 3 months after his initial AFR treatment. E, Patient 3 demonstrating the anterior and distal aspects of the amputation stump 3 months after his initial AFR treatment.

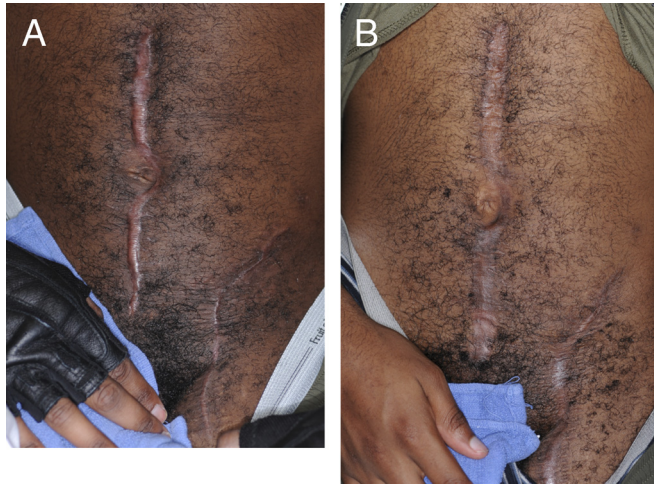


Figure 5. A, Patient 4 Hypertrophic and contracted linear laparotomy scar before treatment. B, Patient 4 Scar flattening and substantially decreased contracture 9 months after his initial AFR treatment combined with intralesional triamcinolone acetonide.

topical suspension of triamcinolone acetonide was applied to the treatment area immediately after laser therapy to facilitate penetration. At follow-up approximately 9 months after his initial AFR treatment, the patient demonstrated cumulative improvement and symptom relief (Fig. 5B).

No serious adverse events related to AFR were noted, including skin infections, worsening scarring, excessive pain, or limitations in activity. Physical therapy was well tolerated in the immediate postprocedure period.

DISCUSSION

Burns and other traumatic injuries both on and off the battlefield frequently result in disfiguring and disabling scars that can have a profoundly negative psychosocial and functional impact. Scar contractures across joints may decrease mobility, whereas dysfunctional scars may impede the fit and comfort of prosthetic devices, precluding full participation in physical rehabilitation.

Traditional management of scar contractures typically begins with conservative measures that include pressure garments, massage, heat, ultrasound, physical and occupational therapy, and intralesional steroid injections. Surgical interventions, including incision and release, skin grafting, flaps, and long-term splinting may be required for refractory or severe contractures. However, surgical revision may be beset by unpredictable efficacy, high recurrence rates, and additional morbidity.^{8,9} Moreover, psychological factors such as post-traumatic stress may result in an unwillingness for the patient to undergo additional surgical procedures.

The use of ablative laser resurfacing for mild scarring such as that associated with acne or incisional surgery is well recognized in dermatology. However, the limited penetration depth of full-field (nonfractionated) ablative CO₂ lasers as

well as the decreased number of adnexal structures, distorted anatomy, and overall decreased healing potential in larger scars and graft sites precludes the broad use of traditional ablative laser resurfacing for extensive scarring and contractures.^{10,11}

The advent of ablative fractional laser technology has provided new opportunities for cosmetic and functional enhancement for patients with traumatic scars. The principle of fractional photothermolysis relies on the laser-mediated production of precise, noncontiguous pixelated microcolumns of thermal injury to depths not routinely attainable by previous devices. Relatively large quantities of adjacent untreated skin serve as a reservoir of viable tissue to promote rapid epithelial repair, neocollagenesis, and dermal remodeling.^{12,13}

To our knowledge, this is the first case series in the literature specifically addressing functional improvements in scars and contractures with AFR. Although reports from other centers have focused on burn scars, our experience suggests that AFR may be effective for the treatment scars resulting from a variety of injury mechanisms. The principle of deliberate pixelated skin injury to induce collagen remodeling is not unique to lasers and has been practiced for years in the form of skin “needling” (percutaneous collagen induction).¹⁴ Little is currently known about the histopathologic response of scar tissue to AFR. Multiple immunohistochemical studies performed in the context of cosmetic indications demonstrate the coordinated expression of a variety of mediators including heat shock proteins, matrix metalloproteinases, and growth factors with varying dynamics over time. These modulate a wound healing and collagen remodeling response that has been shown to persist 6 months or more after treatment.^{13,15–19}

On initial inspection, it seems difficult to reconcile the application of AFR to both the rejuvenation of aged and photo-damaged skin and the relaxation of scar contractures. In our view, the repair and remodeling response of the skin to this unique thermal injury is more nuanced and flexible than simple collagen contraction and neocollagenesis. The key for functional improvements in scar contractures likely resides in favorable collagen remodeling induced by judicious laser settings, combined with concurrent physical and occupational therapy and other interventions to establish a new functional threshold. For exceptionally hypertrophic scars, we think that the addition of corticosteroids can be synergistic with laser therapy, but this requires further study.

Conventional scar management paradigms often dictate approximately a year of maturation to allow for spontaneous improvement before procedural intervention.²⁰ In this series, laser treatment was initiated between 2 months and 5 months after injury with promising efficacy and safety. These initial observations certainly must be confirmed in the course of future controlled trials. The rapid improvements observed in this series were achieved after a plateau in improvement and were significantly faster than we would have expected with spontaneous improvement alone. In the absence of prospective studies, these are the best arguments for the positive contribution of the laser therapy. We propose that the application of this low-morbidity therapy during the period of active remodeling can potentially influence the trajectory of scar development at virtually any age beginning several months after injury, possibly reaching an enhanced cosmetic and functional

end point earlier for the patient's course. Rather than a replacement for conventional scar management such as surgical revision, in our opinion, AFR should be regarded as a potentially important new tool to help optimize outcomes after traumatic injury.

AUTHORSHIP

P.R.S., J.M.K., and J.T.L. performed the literature searches for this study. P.R.S. and N.S.U. collected and interpreted the data. P.R.S., J.M.K., and J.T.L. wrote the manuscript, for which P.R.S. prepared figures.

DISCLOSURE

The authors declare no conflicts of interest.

REFERENCES

1. Tierney E, Kouba D, Hanke C. Review of fractional photothermolysis: treatment indications and efficacy. *Dermatol Surg.* 2009;35:1445–1461.
2. Allemann IB, Kaufman J. Fractional photothermolysis—an update. *Lasers Med Sci.* 2010;25:137–144.
3. Bowen RE. A novel approach to ablative fractional treatment of mature thermal burn scars. *J Drugs Dermatol.* 2010;9:389–392.
4. Haedersdal M. Fractional ablative CO₂ laser resurfacing improves a thermal burn scar. *J Eur Acad Dermatol Venereol.* 2009;23:1340–1341.
5. Waibel J, Beer K. Ablative fractional laser resurfacing for the treatment of a third-degree burn. *J Drugs Dermatol.* 2009;8:294–297.
6. Kineston D, Kwan JM, Uebelhoefer NS, Shumaker PR. Use of a fractional ablative 10.6- μ m carbon dioxide laser in the treatment of a morphea-related contracture. *Arch Dermatol.* 2011;147:1148–1150.
7. Kwan J, Wyatt M, Uebelhoefer NS, Pyo J, Shumaker PR. Functional improvement after ablative fractional laser treatment of a scar contracture. *PM R.* 2011;3:986–987.
8. Smith MA, Munster AM, Spence RJ. Burns of the hand and upper limb—a review. *Burns.* 1998;24:493–505.
9. Motamed S, Hasanpoor SE, Moosavizadeh SM, Arasteh E. Treatment of flexion contractures following burns of the extremities. *Burns.* 2006;32:1017–1021.
10. Bernstein LJ, Kauvar AN, Grossman MC, Geronemus RG. The short- and long-term side effects of carbon dioxide laser resurfacing. *Dermatol Surg.* 1997;23:519–525.
11. Nanni CA, Alster TS. Complications of carbon dioxide laser resurfacing. An evaluation of 500 patients. *Dermatol Surg.* 1998;24:315–320.
12. Manstein D, Herron GS, Sink RK, Tanner H, Anderson RR. Fractional photothermolysis: a new concept for cutaneous remodeling using microscopic patterns of thermal injury. *Lasers Surg Med.* 2004;34:426–438.
13. Hantash BM, Bedi VP, Kapadia B, Rahman Z, Jiang K, Tanner H, Chan KF, Zachary CB. In vivo histological evaluation of a novel ablative fractional resurfacing device. *Lasers Surg Med.* 2007;39:96–107.
14. Aust MC, Fernandes D, Kolokythas P, Kaplan HM, Vogt PM. Percutaneous collagen induction therapy: an alternative treatment for scars, wrinkles, and skin laxity. *Plast Reconstr Surg.* 2008;212:1421–1429.
15. Helbig D, Bodendorf MO, Grunewald S, Kandler M, Simon J, Paasch U. Immunohistochemical investigation of the wound healing response to fractional photothermolysis. *J Biomed Opt.* 2009;14:1–8.
16. Reilly MJ, Cohen M, Hokugo A, Keller GS. Molecular effects of fractional carbon dioxide laser resurfacing on photodamaged human skin. *Arch Facial Plast Surg.* 2010;12:321–325.
17. Xu X-G, Luo Y-J, Wu Y, Chen JZ, Xu T-H, Gao X-H. Immunohistological evaluation of skin responses after treatment using a fractional ultrapulse carbon dioxide laser on back skin. *Dermatol Surg.* 2011;37:1141–1149.
18. Grunewald S, Bodendorf M, Illes M, Kandler M, Simon JC, Paasch U. In vivo wound healing and dermal matrix remodeling in response to fractionated CO₂ laser intervention: clinicopathological correlation in non-facial skin. *Int J Hyperthermia.* 2011;27:811–818.
19. Prignano F, Campolmi P, Bonan P, Ricceri F, Cannarozzo G, Troiano M, Lotti T. Fractional CO₂ laser: a novel therapeutic device upon photobiomodulation of tissue remodeling and cytokine pathway of tissue repair. *Dermatol Ther.* 2009;22:S8–S15.
20. Wainwright DJ. Burn reconstruction: the problems, the techniques, and the applications. *Clin Plast Surg.* 2009;36:687–700.

Функциональные улучшения травматических рубцов и рубцовых контрактур при лечении абляционным фракционным лазером

Peter R. Shumaker, MD, Julia M. Kwan, MD, John T. Landers, MD, and Nathan S. Uebelhoer, DO, San Diego, California¹

ИСТОРИЯ ВОПРОСА. В литературных источниках встречается все большее количество сообщений об использовании абляционной фракционной шлифовки (АФШ) с целью лечения таких косметических недостатков кожи, как дисхромия, морщины и нарушения структуры кожи. При этом работы о применении этой процедуры для лечения пациентов с травматическими рубцами и рубцовыми контрактурами весьма малочисленны. В данной работе представлен наш опыт применения АФШ для лечения рубцов с описанием четырех показательных клинических случаев и с предположениями о возможных механизмах действия.

МЕТОДЫ. Четыре пациента с функциональными дефицитами, связанными с тяжелыми рубцовыми контрактурами, проходили до 3-х сеансов лечения абляционным фракционным СО₂-лазером с интервалом от одного до двух месяцев. План лечения был индивидуальным, лечение начиналось спустя 2 месяца после повреждения или последней пластической операции. Все процедуры проводились в амбулаторных условиях с применением местной анестезии, сопровождаемой усиленным воздушным охлаждением. Уход за кожей после процедур заключался в наложении 2-3 раза в день укусных компрессов и нанесении мази на обработанную область в течение 3-х дней после лечения. Болевые ощущения после процедуры были минимальными, поэтому всем пациентам было позволено возобновить физиотерапевтическое лечение в тот же день.

РЕЗУЛЬТАТЫ. АФШ переносится пациентами хорошо, без серьезных осложнений. У всех пациентов был отмечен длительный и кумулятивный положительный эффект, проявляющийся в улучшении подвижности и общих функциональных возможностей кожи. АФШ может избавить от хирургического вмешательства и облегчить возвращение к полноценной жизнедеятельности или жизнедеятельности, которая возможна при сопутствующих повреждениях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. АФШ – новый, хорошо переносимый, эффективный способ лечения, который дополняет традиционную реабилитационную терапию пациентов с травматическими рубцами и рубцовыми контрактурами. Результаты работы приводят к мысли о необходимости более раннего начала лечения, а также смещают фокус на функциональные улучшения.

(J Trauma Acute Care Surg. 2012;73: S116YS121. Copyright * 2012 by Lippincott Williams & Wilkins)

УРОВЕНЬ ДОКАЗАТЕЛЬНОСТИ: Терапевтическое исследование, уровень V.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: лазер; фракционный; абляционный; рубец; контрактура.

¹ Отделение Дерматологии, Военно-морской Медицинский центр, Сан-Диего, Калифорния
Материал этой статьи был представлен на пленарной сессии ежегодной конференции «Применение передовых технологий в уходе за жертвами боевых действий», Форт-Лодердейл, Флорида, Август 2011.
Взгляды, отраженные в данной статье, являются авторскими и не являются официальной политикой или позицией Военно-Морского Министерства, Министерства обороны или Правительства США.
Адрес для переписки: Peter R. Shumaker, доктор медицины, Отделение Дерматологии, Военно-морской Медицинский центр, 34800 ул. Доктора Боба Уилсона, Модуль 300, Сан-Диего, Калифорния, США 92134; e-mail: peter.shumaker@med.navy.mil.

Со времени своего появления в 2007 году абляционная фракционная шлифовка (АФШ) обрела значительную популярность при лечении множества косметических недостатков кожи, таких как морщины, дисхромия и даже акне, хирургические и послеожоговые рубцы.¹⁻⁵ В литературных источниках имеется небольшое количество сообщений о случайных улучшениях в состоянии рубцовых контрактур, но при этом почти не встречаются сообщения о функциональных улучшениях, связанных непосредственно с применением процедуры АФШ.^{6,7}

В течение десятилетия военных конфликтов количество раненых с уродующими и калечащими рубцами значительно возросло. С целью более эффективного удовлетворения эстетических и функциональных потребностей таких пациентов Отделение Дерматологии Военно-морского Медицинского центра в Сан-Диего основало клинику лечения рубцов в рамках всеобъемлющей программы эстетического восстановления. Предварительные клинические наблюдения, выполненные авторами, дают основания полагать, что при лечении рубцов АФШ проявляет устойчивую эффективность и исключительную безопасность в широком диапазоне приложений. В целях применения новой техники для лечения более широкой группы людей, а также в целях активизации дальнейших научных исследований, мы описываем здесь четыре независимых клинических случая, которые иллюстрируют предполагаемую нами универсальность и функциональную значимость АФШ при травматических повреждениях.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Четверо мужчин с изнуряющими рубцовыми контрактурами подверглись лечению в соответствии с протоколом АФШ (Таблица 1). Ко времени начальной оценки все пациенты участвовали во всеобъемлющих реабилитационных программах, которые включали в себя интенсивные физио- и трудотерапию, профессиональный уход за ранами и другие необходимые виды лечения. Пациенты с остаточными функциональными дефицитами, обусловленными рубцовыми контрактурами, на фоне значительного снижения скорости или остановки улучшения,

были отправлены на дерматологическую оценку. Пациентам со значительной рубцовой гипертрофией назначалась дополнительная стероидная терапия; пациенты №2 и №4 получали фокальные инъекции триамцинолона ацетонида в концентрации 40 мг/мл в течение 2-4-х недель после сеансов АФШ. Пациент №3 применял нитрат серебра путем его местного нанесения на фокальную область чрезмерной грануляционной ткани одновременно с АФШ прилежащих областей кожи.

ПРОТОКОЛ АФШ

Лечение проводилось в клинике и не сопровождалось применением седативных или системных обезболивающих средств. За 60-90 мин до лечения окклюзивно применяли местный анестетик (LMX, Ferndale Laboratories, Inc., Ферндейл, Мичиган, США). В случае необходимости для анестезии фокальных областей, обладающих повышенной чувствительностью, применялось местное введение стандартного 1%-го раствора лидокаина с эпинефрином. Для устранения дискомфорта во время процедуры использовалась система усиленного охлаждения воздуха (Zimmer MedizinSystems, Ирвайн, Калифорния, США).

После получения правильно оформленного информированного согласия было проведено лечение CO₂-лазером (длина волны 10600 нм), снабженным микроабляционным фракционным ручным манипулятором (Deer Fx, Ultrapulse Encore, Lumenis, Санта Клара, Калифорния, США). План лечения был индивидуальным и зависел от множества факторов, таких как толщина рубца, степень заживления, локализация, наличие неровностей структуры и пигментации. Лечение проводилось за один прогон, единичным импульсом без повторной обработки одной и той же области на поверхности рубца (Рис.1). Используемая энергия импульса была пропорциональна желаемой глубине обработки (до 2-х мм) и варьировалась от 17,5 мДж до 50 мДж в зависимости, прежде всего, от толщины шрама, оцененной при помощи пальпации. Значение плотности было обратно значению используемой энергии импульса и составляло от 5% до 15%.

Таблица 1. Клинические характеристики пациентов и результаты лечения абляционным фракционным лазером

№ п/п	Возраст, лет	Пол	Тип повреждения	Локализация рубца/контрактуры	Функциональное нарушение	Время, прошедшее после повреждения/последней операции	Результаты (объем лечения)
1	25	М	Бензиновый ожог	На левой верхней конечности через локтевую ямку, по дорсальной поверхности запястья и кисти	Нарушено разгибание локтевого сустава; неспособность сжать руку в кулак; невозможность кистевого захвата	4 месяца	10-й день после процедуры: значительное улучшение подвижности кисти 6-я неделя: подвижность и сила кистевого захвата приближаются к нормальным значениям 4-й месяц: практически полное восстановление функций кисти (два сеанса лечения)
2	24	М	Термический ожог	На левой ноге по латеральной поверхности бедра к голени через колено	Ограниченное разгибание ноги; нарушение походки	5 месяцев	3-й день после процедуры: улучшение разгибания ноги на 12 градусов; отменены регулярные осмотры рубца 6-й месяц: восстановление походки (два сеанса лечения) 2-й год: устойчивые улучшения
3	22	М	Взрыв самодельного взрывного устройства, приведший к ампутации обеих ног выше колена	Левая ампутационная культя	Ограниченная подвижность кожи с инвагинациями; хрупкость кожи, хронические эрозии/язвы; чрезмерная грануляционная ткань; нетерпимость к ножному протезу	2 месяца	10-й день после процедуры: повышение эластичности и размягчение рубца; постепенное заживление эрозий/язв 3-я неделя: непрерывные улучшения структуры рубца, эластичности, степени заживления раны; привыкание к гнезду протеза и увеличение времени физиотерапии 3-й месяц: отличная эластичность рубцов, выносливость; участие в полной программе реабилитации при протезировании (два сеанса лечения и применение нитрата серебра в области грануляционной ткани)
4	20	М	Огнестрельное ранение, лапаротомия и паховая диссекция	Туловище, вертикальный прямолинейный гипертрофический контрактированный рубец длиной 20 см, вытянутый вдоль срединной линии живота и паха	Сложности с прямостоянием, лежанием на плоской поверхности и переходом из сидячего положения в стоячее с связи с контрактурой рубца на животе; боль	4 месяца	14-й день после процедуры: размягчение рубца, улучшение подвижности, снижение болевых ощущений 3-й месяц: постепенное уплощение рубца; дальнейшее ослабление боли и улучшение подвижности (два сеанса лечения, перемежающиеся введением триамцинолона ацетонида) 9-й месяц: непрерывные улучшения, в том числе подвижности (четыре сеанса лечения)

ПОСЛЕПРОЦЕДУРНЫЙ УХОД

На обработанную область наносили тонкий слой мази на основе нефти и для удобства накрывали ее не прилипающими подкладками и защищали эластичной пленкой. В течение первых 48-72 часов после процедуры было предписано наложение укусовых компрессов в течение 15-20 мин 2-3 раза в день, с последующим повторным нанесением мази. Процедуры проводились с интервалом в 1-2 месяца, сопутствующая физиотерапия возобновлялась в день процедуры.



Рис. 1. Внешний вид кожи непосредственно после процедуры АФШ. Фракционные микростолбики выглядят как отпечаток с мозаичным узором на поверхности кожи.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Характеристики пациентов и результаты АФШ представлены в Таблице 1. Лечение, в общем, переносилось хорошо. В течение процедуры пациенты испытывали легкий дискомфорт, а после процедуры – минимальные болевые ощущения и кожный зуд, похожие на симптомы солнечного ожога. В течение нескольких минут по ходу процедуры на коже проявлялась легкая эритема с волдырями и умеренные серозные

выделения с редкими временными капиллярными кровотечениями, которые проходили самопроизвольно. Все пациенты в 1-2-ю недели после первого сеанса лечения заявляли о том, что почувствовали улучшение в состоянии здоровья. Так пациент №3 сообщил об ускоренном заживлении раны, а пациенты №№1, 2, 4 - об улучшении подвижности. При этом все пациенты заявляли о повышении эластичности рубца, улучшении его структуры, цвета и общего состояния. Положительный эффект лечения был длительным и кумулятивным.

Пациент №1 за 4 месяца до клинического осмотра получил обширные ожоги. К моменту осмотра пациент, в общем, чувствовал себя хорошо, но его беспокоила постоянно усугубляющаяся лентовидная рубцовая контрактура, простирающаяся от передней стенки левой подмышечной впадины через локтевую ямку по дорсальной стороне запястья и кисти. Невозможность полностью сжать руку в кулак мешала ему выполнять профессиональные обязанности. Через 10 дней после первичной процедуры АФШ контрактурованной области диапазон возможных движений расширился, а кистевой захват улучшился (Рис. 2А, 2В). При следующем визите через 6 недель пациент сообщил о постоянных улучшениях подвижности и кистевого захвата, а также о возвращении способности готовить еду. В этот же визит пациент прошел второй сеанс лечения. К 4-му месяцу после первого сеанса произошло практически полное восстановление подвижности кисти.

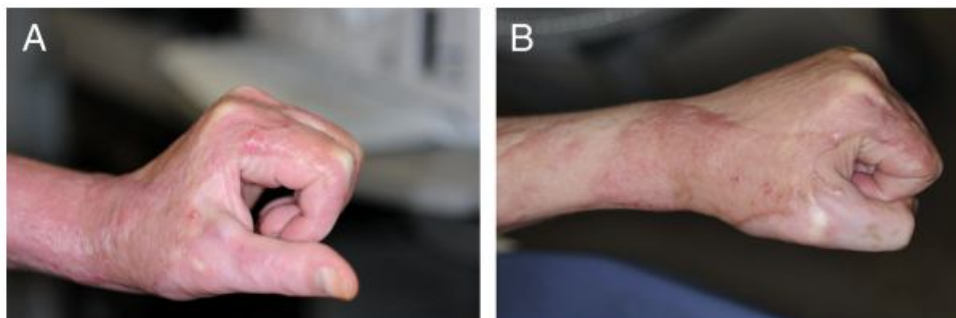


Рис. 2. А, Пациент №1 демонстрирует ограниченную способность сжимать руку в кулак до процедуры АФШ вследствие травматической рубцовой контрактуры на дорсальной поверхности запястья и кисти. В, Пациент №1 демонстрирует улучшение подвижности и кистевого захвата через 10 дней после первого сеанса АФШ.

Ко времени первоначальной оценки и лазерной терапии, пациент №2 уже запланировал лечение рубцов методом растяжения и пересадки кожи с целью устранения тяжелой рубцовой контрактуры на латеральной поверхности левого колена. Через 3 дня после первой процедуры АФШ он заметил, что нога стала разгибаться на 12 градусов больше, а хроническая эрозия полностью эпителизировалась (Рис. 3А, 3В). Результаты лечения были настолько обнадеживающими, что хирургическое вмешательство было отменено. После второго сеанса лечения пациент сообщил о постоянном улучшении подвижности сустава, которая полностью восстановилась через полгода. Через два года после первого сеанса АФШ у пациента наблюдался устойчивый положительный эффект лечения и нормализация активности (Рис. 3С).

Пациент №3 в острой фазе лечения нуждался в обширной пересадке расщепленного кожного лоскута на левую ампутационную культю. При первом осмотре в дерматологической клинике он был не в состоянии начать использовать протез левой ноги, вследствие обширной контрактуры, сопровождающейся хрупкостью кожи, множественными незаживающими эрозиями и язвами, а также из-за наличия области чрезмерной грануляционной ткани, не поддающейся лечению нитратом серебра или обычными средствами ухода за раной (Рис. 4А, 4В). Через 3 недели после первого сеанса АФШ, произошли значительные улучшения: возросли скорость заживления раны, эластичность кожи, выносливость, что позволило пациенту начать использовать

протез (Рис. 4С). Ко времени второго сеанса АФШ (через 3 месяца после первого) улучшения прогрессировали, пациент был полностью вовлечен в программу реабилитации, включающую в себя длительные прогулки (Рис. 4D, 4E).

Пациент №4 при поступлении в клинику дерматологии имел изнуряющие контрактированные и гипертрофические рубцы, пересекающие срединную линию живота и пах (Рис.5А). Через 2 недели после первого сеанса АФШ при визуальном осмотре обнаружилось ослабление контрактуры, что сопровождалось субъективными ощущениями улучшения подвижности. По причине сильной гипертрофии абдоминального рубца в схему лечения были добавлены инъекции в область рубца триамцинолона ацетонида. Пациент пошел два цикла лечения АФШ с последующим двухнедельным лечением триамцинолоном ацетонида. Примерно через 3 месяца после первого сеанса АФШ у пациента наблюдались прекрасные симптоматические улучшения, сопровождающиеся заметным размягчением рубца и ослаблением контрактуры. Два дополнительных сеанса АФШ были проведены с 6-ти недельным интервалом, но сразу после лазерной терапии, вследствие повышенной проницаемости, инъекции триамцинолона ацетонида были заменены на местное нанесение суспензии этого лекарства. Примерно через 9 месяцев после первого сеанса АФШ наблюдались нарастающие улучшения и исчезновение симптомов (Рис. 5В).



Рис. 3. А, Пациент №2 демонстрирует сниженную способность разогнуть левое колено по причине рубцовой контрактуры. В, Пациент №2 демонстрирует улучшение подвижности через три дня после первого сеанса АФШ. Обратите внимание на постепенное заживление эрозий. С, Пациент №2 демонстрирует прогрессирующие и устойчивые улучшения подвижности примерно через 2 года после первого сеанса АФШ.

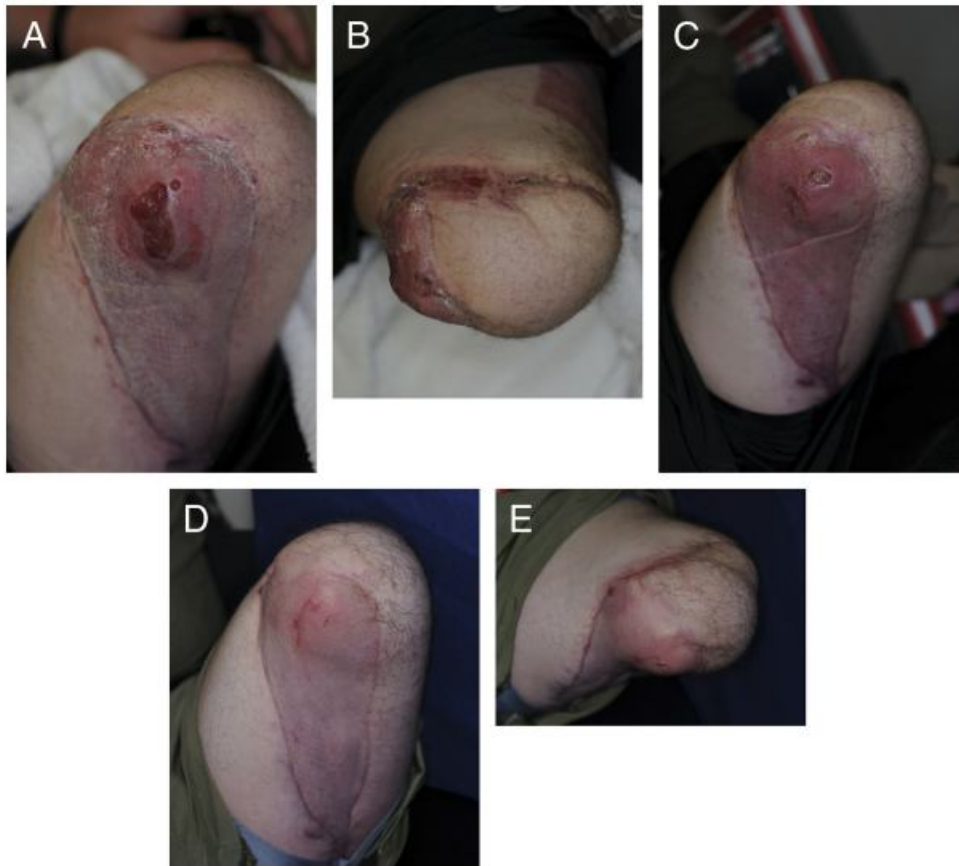


Рис. 4. А, Ампутиционная культя пациента №3 перед началом лечения АФШ, наблюдаются рубцовая контрактура и инвагинации кожи, хронические эрозии и язвы, неровности структуры и обширные области избыточной грануляционной ткани. В. Передний дистальный ракурс ампутиционной культя пациента №3 перед началом лечения. С, 3 недели после первого сеанса АФШ, пациент №3 демонстрирует быстрое заживление ран и улучшение состояния кожи. D, пациент №3 демонстрирует значительные улучшения: повышение эластичности кожи, улучшение структуры и цвета кожи, заживление ран через 3 месяца после начала лечения. Е, Пациент №3 демонстрирует передний дистальный ракурс ампутиционной культя через 3 месяца после начала лечения.



Рис. 5. А, Гипертрофический контрактированный рубец, появившийся у пациента №4 вследствие линейной лапаротомии, до начала лечения. В, Пациент №4 демонстрирует уплощение рубца и существенное ослабление контрактуры вследствие АФШ, совмещенной с инъекциями в область рубца триамцинолона ацетонида

Никаких серьезных побочных эффектов АФШ, включая кожные инфекции, усиление рубцевания, чрезмерную боль, ограничение активности, не наблюдалось. Физиотерапия, проводимая сразу после процедур АФШ, переносилась хорошо.

ОБСУЖДЕНИЕ

Ожоги и травмы, полученные как на поле боле, так и вне его зачастую приводят к появлению уродующих и инвалидизирующих рубцов, что может приводить к глубоким негативным психологическим и функциональным последствиям. Рубцовые контрактуры суставов могут снижать подвижность, а сами рубцы могут осложнять ношение протезов, что препятствует полной физической реабилитации.

Традиционное лечение рубцовых контрактур обычно начинается с принятия консервативных мер, таких как ношение компрессионного трикотажа, массаж, прогревание, ультразвук, физио- и трудотерапия, инъекция стероидных препаратов в область повреждения. В случае тяжелых и серьезных контрактур может потребоваться хирургическое вмешательство, включающее рассечение и устранение, пересадку кожи, лоскутирование, шинирование. Однако, хирургическое лечение может не иметь должного эффекта, в связи с непредсказуемостью результатов, высокой вероятностью повторного проявления и возможными ослаблениями.^{8,9} Кроме того, психологические факторы, такие как посттравматический стресс, могут привести к неготовности пациента к проведению дополнительных хирургических процедур.

Использование АФШ для лечения легких рубцов, возникающих вследствие акне или инцизионной хирургии, широко используется дерматологии. Однако, ограниченная глубина проникновения излучения нефракционного абляционного СО₂ лазера, а также сниженное количество аднексальных структур, нарушенная структура, снижение общего заживляющего потенциала в случае обширных рубцов и наличия пересаженной кожи, препятствуют широкому использованию традиционной

абляционной лазерной шлифовки крупных рубцов и контрактур.^{10,11}

Появление абляционной фракционной лазерной технологии дало новые возможности для косметического и функционального лечения пациентов с травматическими рубцами. Принцип фракционного фототермолизиса основывается на опосредованной лазером генерации аккуратных, мозаичных микростолбиках термального повреждений на глубине, обычно недостижимой излучением предшествующих приборов. Относительно большое количество прилегающей необработанной кожи служит источником жизнеспособной ткани, обеспечивающим быстрое восстановление эпителия, неоколлагенез и реконструкцию кожи.^{12,13}

Насколько нам известно, это первое описание серии клинических случаев, относящееся к функциональным улучшениям рубцов и рубцовых контрактур при помощи АФШ. Сообщения других центров фокусируются на ожоговых рубцах, в то время как наш опыт показал, что процедура АФШ может быть эффективной при лечении рубцов, являющихся следствием различных травм. Метод аккуратного мозаичного повреждения кожи с целью индукции синтеза коллагена не является уникальным и используется уже в течение нескольких лет в виде прокалываний кожи иглой (подкожная индукция коллагена).¹⁴ Немного пока что известно о гистопатологическом ответе рубцовой ткани на АФШ. Многочисленные иммуногистохимические исследования, проводимые в рамках испытаний косметических средств, доказывают согласованную динамичную экспрессию различных медиаторов, включая белки теплового шока, матричные металлопротеиназы, факторы роста. Это приводит к эффекту усиленного заживления ран и реконструкции коллагена, который сохраняется в течение 6-ти месяцев после лечения.^{13,15-19}

На первый взгляд кажется трудным совместить применение АФШ и для омоложения старой и фотоповрежденной кожи, и для ослабления рубцовых

контрактура. С нашей точки зрения, восстановительный и реконструирующий эффект, оказываемый на кожу этим уникальным термальным повреждением, является более утонченным и гибким, чем простое сокращение коллагена и неоколлагенез. Объяснение функциональных улучшений рубцовых контрактур возможно состоит в благоприятной реконструкции коллагена, индуцированной правильными настройками лазера и совмещенной с физио-, трудо- и другими терапиями, которые устанавливают новый функциональный порог. Мы думаем, что в случае исключительно гипертрофированных рубцов, добавление применения кортикостероидов может усиливать эффект лазерной терапии, но это требует дополнительных исследований.

При традиционных схемах лечения рубцов до каких-либо вмешательств требуется примерно один год для созревания с целью спонтанного улучшения.²⁰ В описанных в данной работе клинических случаях лазерная терапия была начата между 2-м и 5-м месяцем после повреждения и показала обнадеживающую эффективность и безопасность. Эти начальные исследования должны быть несомненно дополнены дальнейшими контролируруемыми исследованиями. Улучшения, наблюдаемые в данных случаях, были достигнуты после фазы плато, и были значительно более быстрыми, чем могли бы быть в случае спонтанного улучшения. В отсутствие проспективных исследований, это лучшие аргументы для внедрения лазерной терапии. Мы предполагаем, что проведение такой почти безболезненной терапии в течение периода активной реконструкции теоретически может в любом возрасте, начиная с нескольких месяцев после повреждения, повлиять на траекторию развития рубца, способствуя более раннему достижению конечного косметического и функционального эффекта. С нашей точки зрения, АФС следует рассматривать не как возможный заместитель традиционного лечения рубцов, например хирургического вмешательства, а как важный новый инструмент, помогающий оптимизации

результатов после травматических повреждений.

ВКЛАД АВТОРОВ

P.R.S., J.M.K. и J.T.L. исследовали литературные источники
P.R.S. и N.S.U собрали и интерпретировали результаты
P.R.S., J.M.K. и J.T.L. написали статью
P.R.S. подготовил иллюстрационный материал

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tierney E, Kouba D, Hanke C. Review of fractional photothermolysis: treatment indications and efficacy. *Dermatol Surg.* 2009;35:1445—1461.
2. Allemann IB, Kaufman J. Fractional photothermolysis—an update. *Lasers Med Sci.* 2010;25:137—144.
3. Bowen RE. A novel approach to ablative fractional treatment of mature thermal burn scars. *J Drugs Dermatol.* 2010;9:389—392.
4. Haedersdal M. Fractional ablative CO₂ laser resurfacing improves athermal burn scar. *J Eur Acad Dermatol Venereol.* 2009;23:1340—1341.
5. Waibel J, Beer K. Ablative fractional laser resurfacing for the treatment of a third-degree burn. *J Drugs Dermatol.* 2009;8:294—297.
6. Kineston D, Kwan JM, Uebelhoer NS, Shumaker PR. Use of a fractional ablative 10.6-Hm carbon dioxide laser in the treatment of a morphearelated contracture. *Arch Dermatol.* 2011;147:1148—1150.
7. Kwan J, Wyatt M, Uebelhoer NS, Pyo J, Shumaker PR. Functional improvement after ablative fractional laser treatment of a scar contracture. *PM R.* 2011;3:986—987.
8. Smith MA, Munster AM, Spence RJ. Burns of the hand and upper limb—a review. *Burns.* 1998;24:493—505.
9. Motamed S, Hasanpoor SE, Moosavizadeh SM, Arasteh E. Treatment of flexion contractures following burns of the extremities. *Burns.* 2006;32:1017—1021.

10. Bernstein LJ, Kauvar AN, Grossman MC, Geronemus RG. The short- and long-term side effects of carbon dioxide laser resurfacing. *Dermatol Surg.* 1997;23:519—525.
11. Nanni CA, Alster TS. Complications of carbon dioxide laser resurfacing. An evaluation of 500 patients. *Dermatol Surg.* 1998;24:315—320.
12. Manstein D, Herron GS, Sink RK, Tanner H, Anderson RR. Fractional photothermolysis: a new concept for cutaneous remodeling using microscopic patterns of thermal injury. *Lasers Surg Med.* 2004;34:426—438.
13. Hantash BM, Bedi VP, Kapadia B, Rahman Z, Jiang K, Tanner H, Chan KF, Zachary CB. In vivo histological evaluation of a novel ablative fractional resurfacing device. *Lasers Surg Med.* 2007;39:96—107.
14. Aust MC, Fernandes D, Kolokythas P, Kaplan HM, Vogt PM. Percutaneous collagen induction therapy: an alternative treatment for scars, wrinkles, and skin laxity. *Plast Reconstr Surg.* 2008;212:1421—1429.
15. Helbig D, Bodendorf MO, Grunewald S, Kandler M, Simon J, Paasch U. Immunohistochemical investigation of the wound healing response to fractional photothermolysis. *J Biomed Opt.* 2009;14:1—8.
16. Reilly MJ, Cohen M, Hokugo A, Keller GS. Molecular effects of fractional carbon dioxide laser resurfacing on photodamaged human skin. *Arch Facial Plast Surg.* 2010;12:321—325.
17. Xu X-G, Luo Y-J, Wu Y, Chen JZ, Xu T-H, Gao X-H. Immunohistological evaluation of skin responses after treatment using a fractional ultrapulse carbon dioxide laser on back skin. *Dermatol Surg.* 2011;37:1141—1149.
18. Grunewald S, Bodendorf M, Illes M, Kandler M, Simon JC, Paasch U. In vivo wound healing and dermal matrix remodeling in response to fractionated CO₂ laser intervention: clinicopathological correlation in nonfacial skin. *Int J Hyperthermia.* 2011;27:811—818.
19. Prignano F, Campolmi P, Bonan P, Ricceri F, Cannarozzo G, Troiano M, Lotti T. Fractional CO₂ laser: a novel therapeutic device upon photobiomodulation of tissue remodeling and cytokine pathway of tissue repair. *Dermatol Ther.* 2009;22:S8—S15.
20. Wainwright DJ. Burn reconstruction: the problems, the techniques, and the applications. *Clin Plast Surg.* 2009;36:687—700.
- 21.