



Ayako Ito

痩身機器② 焦点式低出力体外衝撃波

CELLACTOR SC1
ultra の効果と実際

伊藤史子*1 青柳 玲*2 二瓶義道*3

KEY WORDS ▶ 痩身 焦点式低出力体外衝撃波 メカノトランスダクション ノーダウンタイム

はじめに

肥満とは、余剰エネルギーが脂肪細胞内に過剰に蓄積された状態を指す。外観の醜状問題に留まらずメタボリック症候群など¹⁾²⁾の誘因となるため、早期からの予防対策が望まれる。対策の普及のためには、①日常生活に支障がないこと、②安全で容易であること、③確実に効果が得られること、④早期から長期に渡って効果維持が期待されるなどの条件を満たす治療法の選択が必要となる。この難題を解決すべく、今回われわれは、痩身治療に焦点式低出力体外衝撃波 (focused low en-

ergy extracorporeal shock wave) 治療機を用いた。この装置は、極めて少ない刺激と治療回数で、非侵襲的に皮下の脂肪細胞に高いエネルギーを到達させることができる。本稿では、実際の症例を用いてその効果について報告する。

I 機器について

既存の非侵襲的な痩身治療は、超音波や冷却など温熱を用いて脂肪量を減量する群と、機械的刺激を用いて減量する群に分かれる。焦点式低出力体外衝撃波は機械的刺激による治療機の1つである。

原爆などの爆発によって、大きなエネルギーが気体・液体・固体中へ瞬間的に放出・蓄積されて生じる衝撃波は、音速を超えて伝わる単相性の高圧力音響波である。衝撃波の特徴は、同じ音響特性を有する物質内では減衰せずに直進することである³⁾。このため、体表面から衝撃波を照射すると、皮膚や組織を損傷することなく、標的である脂肪に大きなエネルギーが減弱することなく到達する。脂肪に収束した後は急激に出力が低下するので、熱が発生しにくい。この特性により、標的より深部に存在する筋肉や骨などへの損傷

*1あやこいとうクリニック

*2川口スキンクリニック

*3群馬皮膚病理研究所

ご逝去されました共著者の青柳玲先生に、謹んで感謝と哀悼の意を表し本寄稿を捧げます。

〈略歴〉

1994年 3月 昭和大学医学部卒業

1994年 4月 昭和大学形成外科入局 勤務

2000年 3月 形成外科認定医・医学博士号取得

(昭和大学形成外科学教室大学院卒業)

2008年 4月 松倉クリニック 副院長

2011年 4月 あやこいとうクリニック開業

2013年 10月 医療法人社団 Xanadu 開設

衝撃波

- ・非連続な波
→熱が発生しにくい
=高出力照射が可能
- ・減退しにくい
=深部まで届く

超音波

- ・連続波
- ・減退しやすい

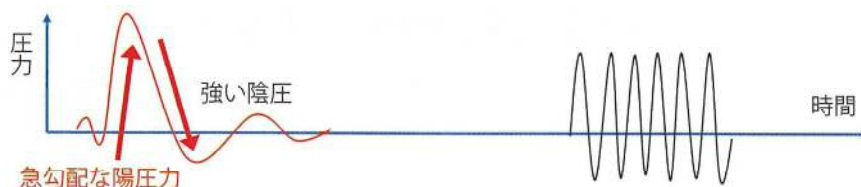


図1 衝撃波と超音波

衝撃波は体表面から照射した際に組織を損傷することなく通過し、対象物にのみ収束させて用いることが可能で、収束後も急激に出力が低下することから、背後の組織を損傷する心配もない。



(a) 本体



(b) ハンドピース

図2 CELLACTOR® SC1 ultra

(提供：STORZ MEDICAL 社)

を懸念することなく、安全な生体内への照射が可能である⁴⁾(図1)。脂肪細胞に対する衝撃波の作用機序では、衝撃の影響で細胞内の脂肪滴の微小化と、細胞骨格の役割を担うストレスファイバーの部分的損傷が生じた後、細胞膜上のチャンネル開閉障害が引き起こされ、蓄積脂肪の細胞外排出と血管内への移行

が促進する。この一連の反応が脂肪の減量につながる⁵⁾。

これらを踏まえ、今回われわれは焦点式低出力体外衝撃波治療機 CELLACTOR® SC1 ultra (Storz Medical 社、スイス) を用い、理想的な痩身術について検証した(図2)。この治療機には、C-ACTOR・D-ACTOR・

- ・細胞がターゲット
- ・局所的な治療
- ・焦点部位に作用
- ・小血管網の造成促進

- ・組織がターゲット
- ・表面 / 平面の治療
- ・ほぐし効果→セルライトに作用
- ・血流改善→排出促進



図3 低出力体外衝撃波

すべてのハンドピースで照射エネルギーのロスを防ぐために、超音波用ジェルを皮膚に塗布して用いた。

V-ACTOR と呼ばれる 3 種類のハンドピースの装着が可能である。このうち C-ACTOR が焦点式低出力体外衝撃波治療に用いられ、平面型衝撃波を発生する⁶⁾。C-ACTOR は 2 種類の専用アタッチメントの装着によって、衝撃波の焦点距離を皮膚接触面から 4.5 cm (アタッチメント使用なし)、2.5 cm、1.0 cm 下に変更可能である。エネルギー出力幅は、4 Hz の条件下で 0.56~1.24 mJ/mm² となっており、脂肪細胞からの脂肪滴放出を強く促す。ほかの 2 種類のハンドピースは、空気圧により短い放射状衝撃波を発生し、接触面に最大エネルギーを伝達しながら、遠位に向かってエネルギーが拡散する。特に D-ACTOR は、血流・リンパの流れを促進するのでドレナージュに用いる。一方 V-ACTOR は、セルライトなどの組織をほぐすために用いる。エネルギー出力幅は 16 Hz で 2.5~5.0 bar である (図 3)。

Ⅱ 適 応

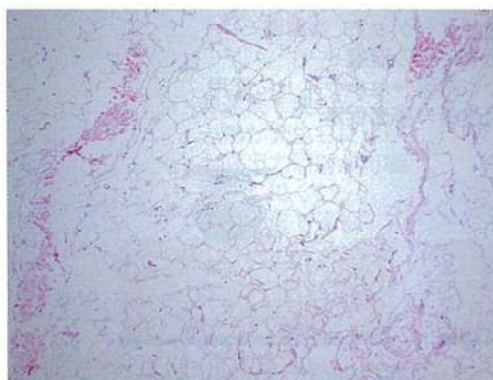
脂肪細胞がターゲットであるため、咬筋や腓腹筋の肥大などは適応とならない。一般的には、皮膚表面からのアプローチが容易な上腕部や顎下部などの皮下脂肪は良い適応であ

る。胃の前の皮下に認める内臓脂肪の一部にも照射可能であるが、照射直後から効果が出やすい①背部肩甲骨周囲、②側腹部から腸骨上方にかけての腰部、③殿部から大腿部にかけての部位が良い適応である。セルライトなどの線維化による硬さを伴う場合は、D-ACTOR や V-ACTOR を用いてほぐした後、C-ACTOR を用いることで減量が容易となる⁷⁾⁸⁾。

一般的とはいえないが、著者らは、両下肢の左右差が問題となるリンパ浮腫も衝撃波治療の対象疾患としている。一方、胸郭部や鎖骨上部などは気胸が生じるリスクがあるため、基本的に照射は行わない。そのほかの注意事項として、成長期の子供への照射は、骨端線が閉鎖していないので十分な注意が必要である⁹⁾。照射後は患者に飲水を促し、血中脂肪濃度の増加に伴う脱水や血管狭窄および塞栓予防に努める必要がある。

Ⅲ 結 果

2019 年 1~12 月までの期間に、著者らが行った焦点式低出力体外衝撃波照射ののべ数は 159 件であった。年齢は 18 歳~79 歳で、性別は男性 24 人、女性 81 人の計 105 人で



(a) 照射前 (×50)

脂肪細胞内の蓄積脂肪量が緊満なため、脂肪細胞壁が伸展され染色が薄くなっている。

図4 病理組織学的変化 (HE 染色)

60 歳, 男性の腹部皮下脂肪を用いた。

あった。自覚的な効果を感じないと評価した 6 人を除く 99 例 (94%) が、初回照射の 3~4 日後より改善の自覚を認めた。一度の照射による治療効果は、日常生活への制限を一切行わず、最長経過観察 1 年 2 カ月後まで維持されていた。合併症は 1 例も認めなかった。

さらに、治療前後 1 年にわたり、60 歳男性の腹部皮下脂肪を用いて病理組織学的検証も行った。照射前の病理組織学的検査では、細胞内部の蓄積脂肪滴量が多いため、緊満で大粒の脂肪細胞が隙間なくひしめき合っている所見が認められた。照射直後の病理組織学的画像では、衝撃波の影響により蓄積脂肪が排出・収縮したことで、厚みを回復した脂肪細胞膜が赤く濃染している所見が認められた。加えて、血液が充満した血管周囲に、細胞膜の扁平化を生じた脂肪細胞が顕著に認められた。また、小血管が点在している部位では、核の対側の細胞膜に、破損を生じた脂肪細胞がいくつも認められた。照射後 3 週間の病理組織学的画像は非常に特徴的で、内膜内側に血液が充満し、浮腫性に拡大した血管を中心に、扁平化した脂肪細胞が重層している所見が認められた。このように際立った脂肪細胞

の変形や縮小化にもかかわらず、核の変性や炎症細胞の浸潤は認められなかった。1 年後の病理検査結果では、大小不同の成熟した脂肪細胞の間に、一部の線維化を認めたものの癒痕形成などの炎症性変化は認めなかった。全体的に真皮層の肥厚が認められた (図 4)。

IV 症 例

【症例①】 36 歳, 女性, 腹部~両側腹部照射例

初回照射 (C-ACTOR 照射後に D-ACTOR 照射) による即時効果について検証した。

照射後 2~3 日からウエスト形態の変化が認められた。日常生活に規制はなく、照射後 2 週には腹直筋の外側縁が認められるようになった (図 5)。

【症例②】 49 歳, 女性, 左上腕照射例

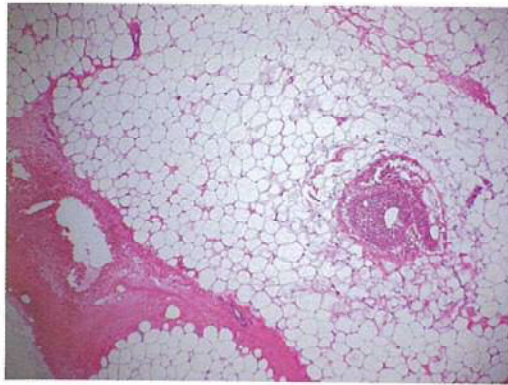
1 回照射による効果の持続期間を検証した。

右利きの患者の左上腕にのみ、C-ACTOR を 1 回、照射後に D-ACTOR を 1 回照射し、1 年 2 カ月にわたって経過観察を行った。照射後 2 日より、左上腕二頭筋の筋腹のシルエットが皮下に認められるようになり、日常生活への規制や併用療法は用いず、1 度の照射によるこの変化は 1 年 2 カ月後まで維持された (図 6)。

【症例③】 48 歳, 女性, 両側上腕照射例

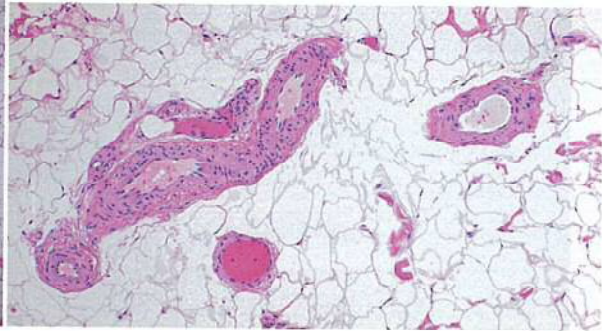
焦点式低出力体外衝撃波の照射を複数回繰り返した場合の効果出現と合併症について検証を行った。

3~4 週間に 1 回の頻度で、C-ACTOR 照射後 D-ACTOR の照射を 2 回繰り返した。照射後 3 カ月の画像では、両側の上腕二頭筋の筋腹が確認できた (図 7)。疼痛



①血管周囲 (×100)

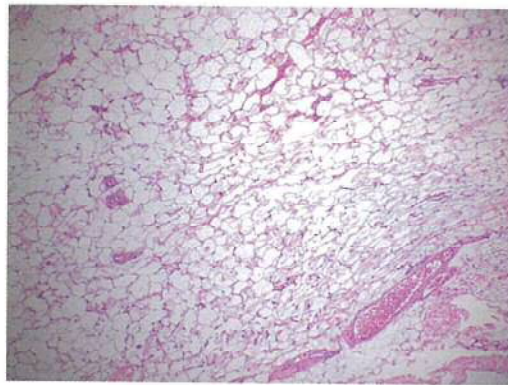
衝撃波の影響により、脂肪細胞が収縮したことで、厚みを回復した細胞壁が赤く濃染しているのが観察できた。また血液が充満した血管周囲に脂肪細胞膜の扁平化を顕著に認めた。



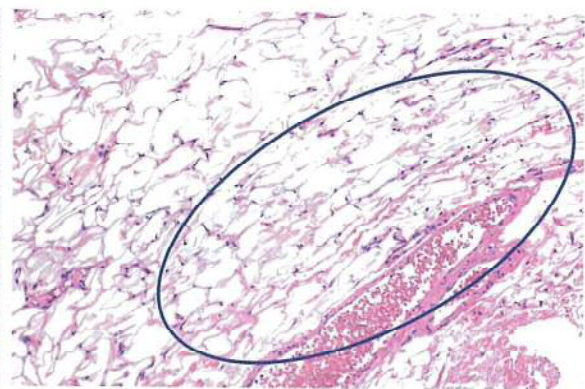
②小血管点在部位 (×200)

細胞間の所々に浸出液の貯留と出血巣を認め、血管壁内に漏出した赤血球を認める小血管が点在している部位では、核側の対側の脂肪細胞膜に破損が生じる脂肪細胞を認めた。

(b) 照射直後



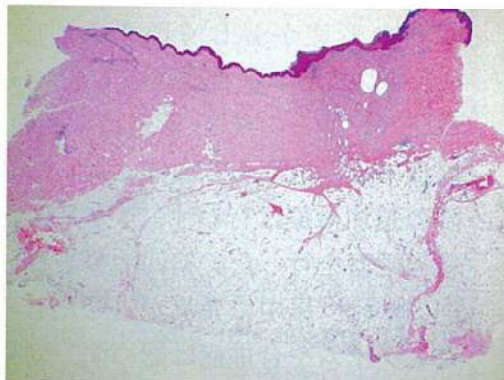
①血管周囲 (×50)



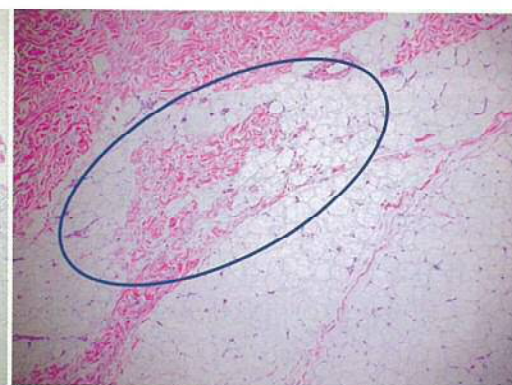
②血管周囲 (×100)

(c) 照射後3週

浮腫性に拡大し、血液が充満した血管を中心に、扁平化した脂肪細胞が重層する特異な像が認められた。それ以外の部分でも脂肪細胞の変形や縮小は生じているが、核の変性や炎症性細胞浸潤は認めなかった。



①血管周囲 (×10)



②血管周囲 (×50)

(d) 照射後1年

皮膚片一部に皮膚生検による瘢痕形成を認めた。真皮層は全体的に肥厚し、下方に一部線維化を伴う成熟した大小不同の脂肪細胞を認めた。炎症性変化は認められなかった。

図4



(a) 照射前の所見

(b) 照射後2週の所見

図5 【症例①】36歳，女性，腹部～両側腹部照射例

治療中の疼痛やダウンタイム，合併症は認めなかった。食事や運動に規制はなく，初回1回の照射から2週間後にはウエストラインが改善し，腹直筋の外縁を皮下に認めるようになった。

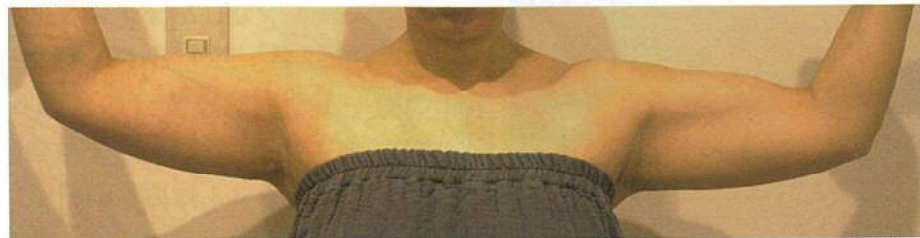


図6 【症例②】49歳，女性，左上腕照射例

1回照射後1年2カ月後の状態である。追加治療，併用療法は用いていない。照射時に尺骨周辺で軽く響く程度の刺激を感じるも，照射後2日より効果の自覚を認め，ダウンタイムや合併症は生じなかった。その後1年2カ月にわたって，食事および運動を含める日常生活への規制はなく，効果が維持されているのが確認できた。

や痺れ，皮下出血，癍痕形成などの合併症は認めなかった。

【症例④】64歳，女性，背部～腹部照射例

Hyeyeonによる腹囲に対する体外衝撃波の併用療法に関する報告¹⁰⁾に基づき，焦点式低出力体外衝撃波とのコンビネーション治療による痩身治療の相乗効果を目的に検証した。両側腹～腹部にかけてC-ASC-TOR・D-ACTOR・V-ACTOR（部分使用）の順に照射を行った後，下半身に対し，ハンドマッサージによるドレナージを施行した。初回の併用療法後2日から，日ごとに

体型の変化を認めた。施術後5日にはウエストの形態が著しく改善し，腹囲は4.5cm減少した。肌質が改善しているのも確認できた。その後3～4週に1度の頻度で，同様の併用治療を3回繰り返した。それ以降の追加治療は行わず，4カ月にわたって経過観察を行った。初回治療当日～翌日の朝にかけ，尿中に異臭が生じたものの，ダウンタイムや合併症は認めず，効果は施術後4カ月まで良好に維持された。

3Dを用いた腰背部の比較画像では，脂肪の減量と美容的な形態改善効果とその維持が確認できた。衝撃波の照射直後に併用



(a) 照射前の所見



(b) 照射後3カ月の所見

図7 【症例⑧】 48歳, 女性, 両側上腕照射例

両側上腕に, 1回/月の治療頻度でC-ACTOR照射後にD-ACTORを2回照射した。3回目照射から1カ月後の状態である。食事や運動に規制はなく, 3カ月後では, 両側の上腕二頭筋の筋腹が容易に確認できる。

療法を行うことで, より確実に効率のよい減量結果を得られることが示唆された(図8)。

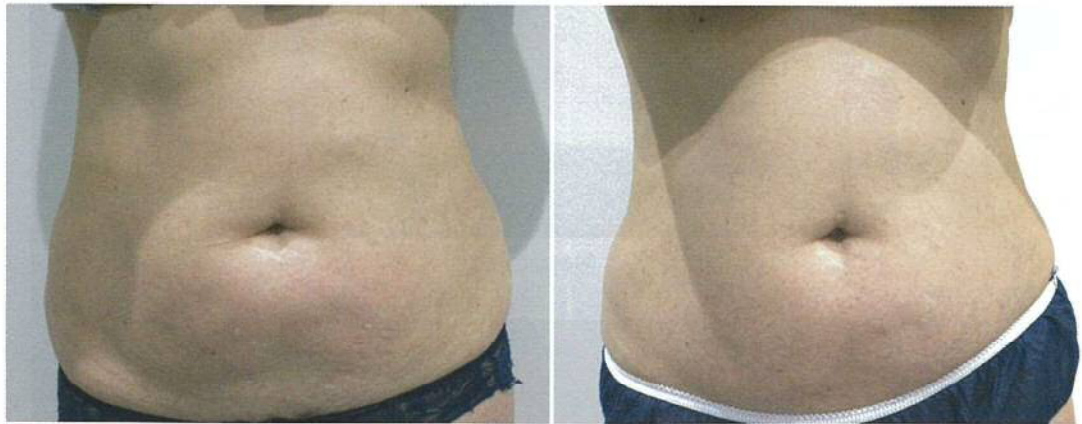
【症例⑨】 53歳, 女性, 右下肢照射例

子宮癌術後のリンパ浮腫に対する治療効果を検証した。低出力体外衝撃波の照射による微小血管網の発達によって, 浮腫や肌質の改善に加え, 皮膚の厚みが増したことで殿部のリフトアップ効果を認めた(図9)。

V 考 察

現存する非侵襲的痩身治療機器の中で, high-intensity focused ultrasound (HIFU) や冷却などの温熱による治療機では, 発生する高冷温により脂肪細胞壊死が生じ, マクロファージを介した炎症反応によってコラーゲンのリモデリングが起これ, 瘢痕が形成される¹¹⁾。一方, 細胞死を生じることのない衝撃

波治療機では, 炎症を介さず, 極めて安全で確実に, ほとんど瘢痕を形成することなく, 脂肪の減量が可能である。その原理として, 伝搬する衝撃波の影響により, ①脂肪細胞内の脂肪滴の微小化, ②細胞膜上のチャンネル開閉障害, ③細胞骨格の役割を担うストレスファイバーの部分的損傷の3つが考えられる⁵⁾。衝撃波照射後の病理組織学的画像で認められた特異的な血管周囲の脂肪細胞の重層扁平化現象は, 脂肪細胞と血管壁の音響インピーダンスの違いにより, 境界部分に空洞化が生じたためと考えられる。それにより, 細胞膜上に存在するストレスファイバーの一部が断裂した結果, 細胞膜の均整が崩れ, 細胞膜上のチャンネル変性が生じ, 細胞内容物が漏出したことで細胞の扁平化が生じ, 細胞死を伴わないまま核の偏位が起きたと推測される。1年後の病理組織学的画像にて, 瘢痕形成を伴わず大小の成熟脂肪細胞を認めたのは, こうした一連のメカノトランスダクション反応を起こした脂肪細胞が, 自身に加わる力学環境の変化に応じて, その後の自身の分

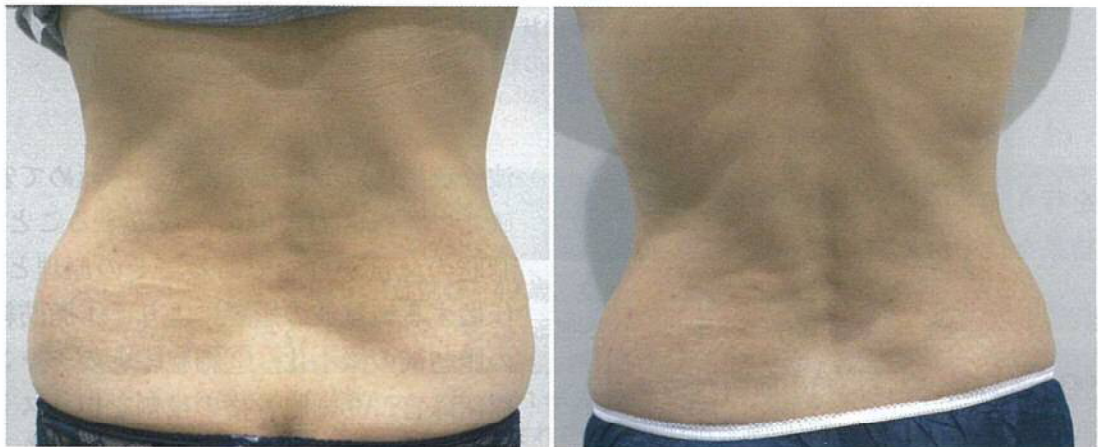


①照射前の所見

②初回照射後5日の所見

(a) 腹部

食事や運動に規制はなく、施術後5日には腹囲の減少に加え、下腹部からウエストにかけて形態が改善しているのを確認できた。



b①	b②
b③	

①照射前の所見

②初回照射後5日の所見

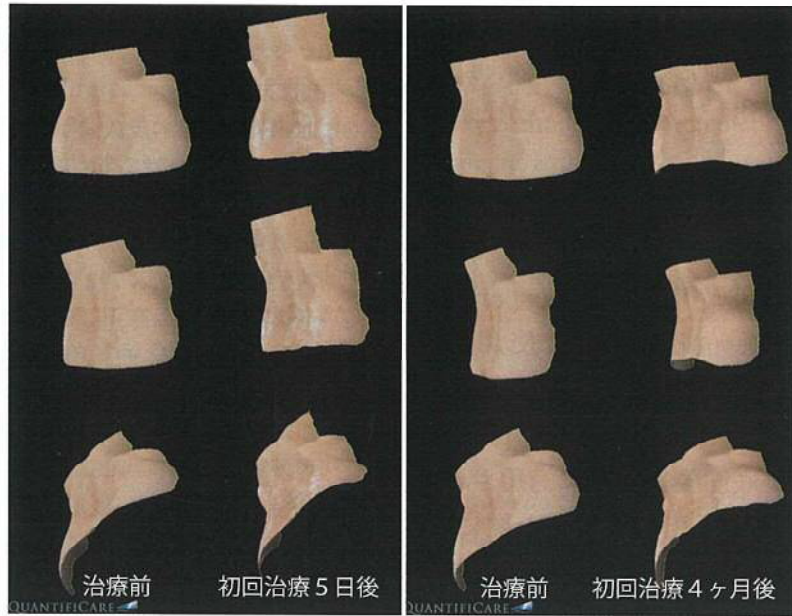
③初回照射後4カ月3回目照射後2カ月の所見

(b) 背部

初回治療後2日より形態的な改善効果を確認、1回/月の照射を3回行った。施術後5日から4カ月後にわたって、背部～側腹部にかけての形態が改善し、効果の維持が確認できる。

図8 【症例④】64歳，女性，背部～腹部照射例

定期的にヨガや水泳を行っていた。



①初回照射後 5 日

②初回照射後 4 カ月

(c) 3D カメラ解析画像による評価 (腰背部)

3D 画像上でも、初回照射 5 日～4 カ月にわたって、背部～側腹部にかけての形態が改善と効果の維持が確認できる。

図 8



(a) 照射前の所見

(b) 照射後 2 カ月の所見

(c) 照射後 4 カ月の所見

図 9 【症例⑤】 53 歳，女性，右下肢照射例

1 回/月の照射を 5 回行った。低出力体外衝撃波による血管内皮細胞に対するずり応力 (shear stress) の影響で、一酸化窒素合成酵素 (eNOS) が放出し、照射部位周辺の血管拡張および血管新生が促進すると、血流改善に伴うリンパ管や神経組織の構築によって微小血管網が発達する。結果、皮膚の厚みが増し、殿部のリフトアップに加え肌質まで改善が見られた。

化の方向性を変化させた結果と考えられる。そして、最終的に脂肪細胞の備蓄能が減弱したことにより、小型化したのではないかと考えられる。

さらに焦点式低出力体外衝撃波治療には、もう1つ別の恩恵が存在する。1980年代から体外衝撃波結石破碎術(extracorporeal shock wave lithotripsy: ESWL)に使用されてきた衝撃波は、体外衝撃波治療(extracorporeal shock wave therapy: ESWT)として発展を遂げ、足底筋膜炎などに適用された。2000年に入ると、低出力で用いた際に、血管内皮細胞の一酸化窒素酵素(eNOS)の作用を介して、微小血管網の造成とそれに伴う血流増加が生じることが明らかになった。これにより、近年では虚血性心疾患や皮膚科形成外科領域にも適応が広がり、コラーゲン造成目的で使用され始めている¹²⁾。衝撃波のこの効能は、脂肪の減量によって生じる皮膚弛緩に対する、今後の対策になり得るものと考えられる。

まとめ

焦点式・放射式衝撃波を用いた非侵襲的瘦身治療は、脂肪細胞の細胞死を伴わず炎症反応を生じにくい。このため、治療中の疼痛がほとんどなく、瘢痕などの形成も認められない。しかも、初回治療の数日後から、照射部位に脂肪の減量による形態の改善が認められ、その効果は1年以上持続する。2019年の導入以後合併症は1件も認めておらず、焦点式低出力体外衝撃波による瘦身は極めて安全で確実な瘦身治療手段であると考えられる。

本論文について、他者との利益相反はない。

《引用文献》

- 1) 水之江雄平, 須藤結香, 平岡秀規ほか: 肥満症脂

肪組織におけるリソソーム機能障害とオートファジーに与える影響. 基礎老化研 39: 3: 35-38, 2015

- 2) 戸田修二, 青木茂久, 内橋和芳ほか: メタボリック症候群における脂肪組織の病理形態と病態解析培養モデル. 病理と臨 28: 9: 959-965, 2010
- 3) 松原隆夫, 伊藤健太, 下川宏明: 低出力体外衝撃波治療. 日本臨床 74: 4: 618-623, 2016
- 4) 高橋謙二, 高橋憲正, 蟹沢泉ほか: 体外衝撃波療法. 臨医 28: 9: 997-1002, 2011
- 5) 長山和亮, 松本健郎: 細胞のバイオメカニクス; 組織再生に向けたメカノトランスダクションの理解とその制御. 人工臓器 42: 3: 205-208, 2013
- 6) 落合信靖: No. 16 整形外科領域における体外衝撃波療法. Loco CURE 5: 58-64, 2019
- 7) Hexel D, Camozzato FO, Silva AF, et al: Acoustic wave therapy for cellulite, body shaping and fat reduction. J Cosmet Laser Ther 19: 165-177, 2017
- 8) Crist C, Brenke R, Sattler G, et al: Improvement in skin elasticity in the treatment of cellulite and connective tissue weakness by means of extracorporeal pulse activation therapy. Aesthet Surg J 28: 5: 538-544, 2008
- 9) 落合信靖, 和田佑一: 筋・腱付着部症の治療: 体外衝撃波療法. Orthopaedics 27: 9: 49-55, 2014
- 10) Kim H: The combination of extracorporeal shock wave therapy and noncontact apoptosis-inducing radiofrequency achieved significant waist circumferential reduction: a pilot study. Laser Ther 26: 2: 129-136, 2017
- 11) Nassar AH, Dorizas AS, Shafai A, et al: A randomized, controlled clinical study to investigate the safety and efficacy of acoustic wave therapy in body contouring. Dermatol Surg 41: 3: 366-370, 2015
- 12) Hayashi D, Kawakami K: Low-energy extracorporeal shock wave therapy enhances skin wound healing in diabetic mice. : a critical role of endothelial nitric oxide synthase. Wound Repair Regen: 20: 887-895, 2012

《ABSTRACT》

Focused Shock Wave Treatment for Body Contouring

Ayako Ito, MD, PhD^{*1}, Akira Aoyagi, MD, PhD^{*2}, Yoshimichi Nihei^{*3}

Obesity is a condition in which excess energy is excessively stored in fat cells. In developed countries with declining birthrates and aging populations, preventive measures are desired from an early stage because obesity is not only a cosmetic problem but also a medical problem that causes health damage such as metabolic syndrome.

In order to spread these concepts, it is necessary to select a treatment that is extremely safe and relatively inexpensive, and that has quick, reliable effects that do not affect the activities of daily life and are readily sustained over the long-term. Focused low-energy extracorporeal shock wave therapy is suitable for solving this difficult challenge. This method can deliver a discontinuous high-pressure acoustic compression wave that generates less heat and hardly decays, so it does not damage

the body surface and outputs high power to the targeted deep layer.

We herein describe our use of this method for body contouring treatment, and our follow up with imaging and pathological examinations. During the treatments, there were no complications such as pain, inflammation, downtime or scarring. Body shape change was observed a few days later, and the therapeutic effect of a single irradiation lasted for one year or more without any restriction to daily life. The effects are discussed with reference to actual cases.

*¹*Ayako Ito Clinic, Tokyo 150-0033*

*²*Kawaguchi Skin Clinic, Saitama 332-0017*

*³*Gunma Pathology Institute, Fukushima 962-0823*