非温熱的超音波治療が人工膝関節置換術後の患者に与える影響

Effects of Non-Thermal Ultrasound Therapy on a Total Knee Arthroplasty Patient

庄本 康治¹⁾ 岡崎 文枝²⁾ 金井 秀作³⁾

KOJI SHOMOTO, RPT¹⁾, FUMIE OKAZAKI, RPT²⁾, SHUSAKU KANAI, RPT³⁾

¹⁾Department of Physical Therapy, Osaka Koseinenkin Hospital: 4-2-78 Fukushima, Osaka city, Osaka 553-0003, Japan. TEL +81 6-441-5451

²⁾Department of Physical Therapy, Yukioka Hospital

³⁾Department of Physical Therapy, Yukioka School of Allied Health Professions

Rigakuryoho Kagaku 13(4): 185-189, 1998. Submitted Sep. 29, 1998. Accepted Nov. 10, 1998.

ABSTRACT: In accordance with a single case design we performed non-thermal ultrasound (u/s) therapy on a patient after total knee arthroplasty (TKA), and the purpose of this study was to ascertain its effect on pain and range of motion (ROM). The subject received TKA for rheumatoid arthritis on Feb. 25th, 1997. The u/s therapy equipment had an effective radiating area of 4 cm², beam nonuniformity ratio of 3:1, output of 0.2 W/cm², frequency of 1.0 MHz, and duty cycle rate of 20%. Two weeks after TKA we performed therapy in the order of placebo u/s therapy, u/s therapy, and placebo u/s therapy, and measured ROM with a goniometer, and pain by the visual analog scale. The flexion ROM showed an improvement in u/s therapy and a deteriorating trend in the second baseline period. A non-thermal effect of ultrasound therapy was shown, however, research giving consideration to irradiation times and frequency of repetition will be necessary.

Key words: nonthermal ultrasound therapy, total knee arthroplasty, single case design

要旨: シングルケースデザインに従ってTKA後の患者に非温熱的u/s治療を実施し、疼痛、ROMをとらえることを本研究の目的とした。対象はRAで、平成9年2月25日にTKAを受けた。u/s治療器はERA4 cm², BNR3:1で、出力は0.2 W/cm², 周波数1.0 MHz, 照射時間率20%であった。TKA手術2週目から、プラセボu/s治療, u/s治療, プラセボu/sの順で治療を実施し、ROMをゴニオメーターで、疼痛をVASで測定した。屈曲のROMは、u/s治療時に改善を示し、第2期ベースライン期には増悪傾向を示した。u/s治療の非温熱的効果が示唆されたが、照射時期と照射回数を考慮した研究が必要である。

キーワード: 非温熱的超音波治療, 人工膝関節置換術, シングルケースデザイン

1) 大阪厚生年金病院 リハビリテーション科: 大阪府大阪市福島区福島4丁目2番78号 (〒553-0003) TEL 06-441-5451

2) 行岡病院 リハビリテーション科

3) 行岡リハビリテーション専門学校 理学療法学科

受付日 1998年9月29日 受理日 1998年11月10日

I. はじめに

超音波 (ultrasound therapy: 以下, u/s と略す) 治療は, 他の物理療法と同じく, 1920 年代から 1960 年代に得られた基礎や臨床研究結果に基づいて体系化され, 今日に至っている¹⁾。臨床では, 深部温熱効果をねらって関節可動域制限に対して実施するケースが多いが, 1970 年代から非温熱的效果についての研究も実施されている。先行基礎研究で明らかになった非温熱的效果には抗炎症作用, コラーゲンの成熟促進, 腱の強度の増大, 脈管形成促進, 創傷の早期治癒などがある^{2,3)}。一方, 臨床研究はその数も少なく, 結果も様々である⁴⁻⁹⁾。

Crawford は, 足底痛を呈する患者 26 人を対象に, 疼痛に対する u/s 照射の効果を研究している⁴⁾。使用した u/s は出力 0.5 W/cm², 周波数 3.0 MHz, 照射時間率 20% であった。患者を u/s 照射群とプラセボ群に無作為に分類し, u/s 照射を 1 回につき 8 分間, 1 週間に 2 回実施し, 合計 4 週間実施した。疼痛を Visual Analogue Scale (以下, VAS と略す) を使って 8 回の治療前後で測定すると, u/s 照射群で平均 30%, プラセボ群で平均 25% 疼痛が軽減したが統計学的有意差はなかった。彼らの研究では 3 MHz の周波数を使用しているが, 10 mm までしか到達しないという報告もあり^{2,3)}, 足底筋膜に u/s が到達しているかは疑問である。また, 機器の特性, 治療面積についても明らかにされていない。

Williamson は, 足関節内反捻挫後 48 時間以内の患者を, 従来の理学療法 (アイスパック, 関節可動域訓練, 不安定板での訓練) に u/s 照射を追加した群, 及び従来の理学療法にプラセボ治療を追加した群とに割り当て, 2 群間の治癒には差がなかったと報告している⁵⁾。しかし, 彼らの研究でも患者の分類の詳細, 機器の特性, 治療面積についての記述がない。

Pienimäki は, 慢性上腕骨外側上顆炎の患者を使って u/s 照射の効果を研究している⁶⁾。39 人の患者を無作為に 2 グループに分類し, 20 人には漸増的な伸張運動, 筋力増強訓練, 作業療法をホームプログラムとして実施した。残りの 19 人には u/s 照射を実施した。u/s は, 出力 0.3 ~ 0.7 W/cm², 周波数 1.0 MHz, 照射時間率は 17%, ヘッドの面積は 5 cm² であった。治療は 1 回に 10 分 ~ 15 分, 1 週間に 3 回, 6 ~ 8 週間実施した。治療開始 8 週間後では, 安静時痛と伸張時痛の双方が運動療法群で有意に軽減し, 復職者数は運動療法群で有意に増加し, 睡眠障害は運動療法群で有意に減少したとしている。これらから, 漸増的な伸張運動プログラムは u/s 照射よりも効果的で

あることが示唆されたとしている。しかし, 治療開始前の疼痛は, u/s 照射群の方が高く, u/s 照射群の職業は重労働者が多く, 前から種々の治療を受けていた者が多い傾向を示したと報告している。また, この 2 群での比較では u/s 治療の効果は明らかにならない。

Nykanen は, 肩関節に障害のある患者 73 人に対して u/s 照射の効果を研究している⁷⁾。上腕二頭筋長頭腱炎, 肩鎖関節炎, 肩関節周囲炎, ローテーターカフ損傷, 慢性関節リウマチ, 片麻痺患者を除き, 最低で 2 ヶ月以上症状の持続する患者を無作為に u/s 照射群とプラセボ群に分類した。u/s は, 出力 1.0 W/cm², 周波数 1.0 MHz, 照射時間率 20%, 使用したアプリケーションヘッドの面積は 5 cm² であり, 治療は 3 ~ 4 週間に合計 10 ~ 12 回実施した。マッサージや伸張運動などを 2 グループで同様に実施し, 他の理学療法は実施せず, 薬物も一定にした。疼痛, ADL を測定したが, 2 群間で有意差は認められず, u/s 照射の実施には疑問が残るとしている。しかし, 彼らの研究ではローテーターカフ損傷を外転筋の筋力低下と疼痛のみで判断するなど症例の分類が不明確であり, また, 慢性期の症例に非温熱的 u/s 治療を実施している。

その他にも臨床研究があるが^{8,9)}, 結果は様々であり, いずれも整形外科の手術後の研究は少ない。そこで今回, 人工膝関節置換術 (Total Knee Arthroplasty: 以下, TKA と略す) 後の症例に対して非温熱的 u/s 治療をシングルケーススタディに従って実施し, 疼痛, ROM の変化をとらえることを本研究の目的とした。

II. 対 象

対象は 65 歳の女性で, 平成 4 年に慢性関節リウマチ (以下, RA と略す) と診断された。平成 7 年に右膝関節の疼痛が増強し, 右膝滑膜切除術を施行した。TKA 手術目的で平成 9 年 2 月 3 日に入院し, 2 月 25 日に手術を実施した。翌日から理学療法を開始し, 術後 2 週目で 1/2 荷重, 4 週目で全荷重となり T 字杖で歩行可能となった。理学療法は筋力増強訓練, 伸張運動, ADL 訓練を 4 月 21 日まで実施した。Steinbrocker の分類は, stage 3, class 2 であり, 筋力は上下肢 4 レベルであった。薬物は非ステロイド抗炎症剤, 免疫調節剤, 免疫抑制剤, ステロイド剤, 胃腸薬であり, 入院中の投薬量は一定であった。

III. 方 法

使用した u/s 治療器は PTI 社製 Omnisound 3000 で, アプリケーターヘッドの面積は 5 cm², 有効輻射面積

(Effective Radiating Area:以下, ERAと略す) 4 cm^2 , ビーム不均等率 (Beam Nonuniformity Ratio:以下, BNRと略す) 3:1であった。

TKA手術後2週目の抜糸後から, ベースライン測定のためにプラセボ u/s 治療を3日間実施し, その後 u/s 治療を9日間実施し, 再度プラセボ u/s 治療を5日間実施した。u/sの出力は 0.2 W/cm^2 , 周波数 1.0 MHz , 照射時間率20%であった。

照射肢位は, 背臥位, 膝関節伸展位で, カップリング剤として u/s ゲルを使用した。u/s ゲルを十分皮膚に塗布してから, 照射前にアプリケーターヘッドを動かして気泡が u/s ゲルにできるだけない状態にした。アプリケーターヘッドと皮膚とを密着させ, アプリケーターヘッドを常に皮膚と直角になるように保ち^{2,3)}, 膝関節前側面に合計20分間, 移動法で u/s 治療を実施した。プラセボ u/s 照射でもまったく同一に実施したが, 出力は発生せず, 治療終了時のプザーのみを鳴らすように設定した。

測定は膝関節の屈曲, 伸展の自動関節可動域 (Active Range of Motion: 以下 AROM と略す) をゴニオメーターで1度単位で測定し, その時の運動時痛を VAS で測定した。AROM測定は3回測定してその平均値とした。VASは研究開始前に1週間の練習を実施してから測定した¹⁰⁾。

測定時期はプラセボ u/s 治療前後と u/s 治療前後である。

なお, RAの活動性を反映していると考えられるCRP, RF, 赤沈値を2週間おきに測定した。

IV. 結 果

図1には全測定結果を示す。屈曲のAROMは, 第1期ベースライン期ではほとんど変化せず, u/s治療時に改善傾向を示し, 第2期ベースライン期には増悪傾向を示した。伸展のAROMは治療に関係なくゆっくりと改善を示した。疼痛は u/s 治療終了時から改善を示した。屈曲の AROM の変化を治療前後でとらえると, プラセボ治療時には変化がないか治療後に軽度減少した。u/s 治療後では, 治療開始初期には改善する傾向にあったが, それ以降の変化は少なかった。RAの活動性の指標となる ESR, CRP はあまり変化がなく, RF は改善傾向を示した。

V. 考 察

1) 治療開始時期

本研究では, u/s 治療開始は, 術後2週経過した抜糸後からとした。Dysonによると, 炎症発生約12時間後に u/s 照射を開始すれば, 壊死組織を除去するマクロファージに含まれる新しい結合組織を発達させる成長因子と化学走性物質が放出され, これらが線維芽細胞と内皮細胞を刺激するかもしれないとしている。また, 脈管形成因子も肥満細胞とマクロファージに存在していて, u/s 照射によってヒスタミンなどが早期に放出され, 脈管形成が促進されるかもしれないとしている^{11,12)}。先行研究でも

図1 測定結果

炎症発生後早期にu/s照射を実施している場合が多いが、感染の危険性を考慮して今回は抜糸後とした。

2) u/s の特性

出力は、u/s治療について肯定的な研究¹³⁻²²⁾では、一部の研究^{23,24)}を除けば0.5 W/cm²前後が多く、否定的な研究^{7,22,25,26)}では1.0 W/cm²以上の出力を使用している場合が多い。Dysonは過去の文献研究から、低強度のu/s照射が、修復に対して効果的に作用する可能性があるとし、高出力ではunstable cavitation, 強いacoustical streamingを引き起こす可能性があり危険であるとしている^{11,12)}。また、Enwemekaらも同じ研究を0.5 W/cm²の出力と1.0 W/cm²の出力で実施し、同一結果が得られたことから、0.5 W/cm²以下の出力が良いとしている^{16,17)}。Hashishらの抜歯後の腫脹、疼痛、開口障害に対するu/s照射でも0.1 W/cm²で効果があったとしている²⁰⁾。standing waveやunstable cavitationの発生を考慮し、本研究では0.2 W/cm²の出力とした。

周波数は、より深部に到達することと、stable cavitationが高い周波数より起こりやすいと考えられているため1.0 MHzとした^{2,11,12)}。照射時間率は、肯定的な研究では20%前後が多く、否定的な研究では照射時間率の記述がなかったり^{25,27)}50%以上である場合が多い^{25,26)}。Dysonらの研究では、standing wave下で赤血球の運動停止が起こることが明らかにされている²²⁾。これは照射部位の酸素供給不足を引き起こす可能性があり、固定法でのu/s照射の実施と、照射部位に反射するような物質があることによって発生するとしている。また、高出力、連続波になるほどその可能性が高いとしている¹¹⁾。従って今回の研究では、TKAによるstanding wave発生の可能性、温熱が発生する可能性を考慮して、20%の照射時間率で照射することとした。照射面積とERAとの関係についての研究は少なく、1 cm²の治療面積に対して最低1分間という報告もあれば、ERAの1.5倍の治療面積に対して1～2分という報告もある³⁾。先行研究でもその記述のない論文^{7,23,26,28)}があるが、詳細を記述している論文¹³⁻²⁰⁾では、ERAの治療面積に対して1～2分間で照射している場合が多く、本研究ではERAの治療面積に対して1分間の照射とした。

3) 屈曲の AROM

第1期ベースライン期には屈曲のAROMはほとんど変化が見られていない。これは3日間という短期間であるためであろう。しかし、u/s治療を開始してすぐに屈曲のAROMが改善している。また、プラセボ治療時には治療前後のAROMの改善がほとんど見られないのに比べ、u/s治療時には、初期には治療前後のAROMが改善傾向に

ある。Fyfeの先行研究でも、u/s治療後、数時間以内で浮腫軽減が認められたと報告¹³⁾していて、これによるAROM改善が起こったと考える。また、ニワトリの屈筋腱を使用しu/s照射を10日間実施したGanらの研究では、u/s照射群では炎症性浸潤が著しく減少していて、規則正しいパターン of 癰痕形成が起こったとしている¹⁸⁾。このようにu/s治療が手術やRAで損傷された組織に対して良い影響を与えたことも考えられる。

第2期プラセボ期には屈曲のAROMが増悪傾向を示している。T字杖に移行したのもこの時期であるが、すでに全荷重していて、荷重による影響はないと考える。また、RAの活動性にも変化はなく、RAが増悪したためではないと思われる。Fyfeは、炎症発生後にu/s治療を1回あるいは2回実施すると、初期には浮腫が増大し、後期には逆に減少すると報告している。また照射回数を3回にすると浮腫の増大が認められたとしている¹⁴⁾。他の先行研究では、20回から30回程度の照射回数では効果が得られていない場合があり^{6,23,29)}、15回程度までの照射回数では効果が認められている場合が多い^{14,16,17-19,21,24,27)}。ほとんどが実験動物での研究結果であり、直接人に適用できないが、9日間という照射回数が長かった可能性もある。照射開始時期について考察すると、Ganらの研究でも、屈筋腱断裂後7日目からu/s照射を実施した群が、非照射群よりROMが有意に大きく、屈筋腱断裂後42日目からu/s照射を実施した群では、ほぼこの中間の値であったとしている¹⁸⁾。従って照射回数が多く、照射時期が遅いためにこれらの結果を招いた可能性もある。

本研究からu/s治療の効果は明らかではないが、今後は、早期から非温熱的u/s治療を開始し、その影響をとらえる必要があると考える。

尚、本稿の要旨の一部は第33回日本理学療法士学会にて発表した。

引用文献

- 1) 嶋田智彦：物理療法マニュアル。医歯薬出版、東京、1996。
- 2) Michlovitz SL, et al.: Thermal agents in rehabilitation. McDiarmid T, et al., Chapter7. Therapeutic Ultrasound. 168-212, 3rd ed. F.A.DAVIS, Philadelphia, 1996.
- 3) McCulloch JM, et al.: Wound Healing: Alternatives in Management. 2nd ed. Chapter14, Role of Ultrasound in Wound Healing. F.A.DAVIS Philadelphia, 318-346, 1995.
- 4) Crawford F: How effective is therapeutic ultrasound in the treatment of heel pain? Annals of the Rheumatic Diseases, 55: 265-267, 1996.

- 5) Williamson JB, et al.: Ultrasound in the treatment of ankle sprains. *Injury*, 17: 176-178, 1986.
- 6) Pienimäki TT: Progressive strengthening and stretching exercises and ultrasound for chronic lateral epicondylitis. *Physiotherapy*, 82:522-530, 1996.
- 7) Nykanen M: Pulsed ultrasound treatment of the painful shoulder a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Scan J Rehab Med*, 27: 105-108, 1995.
- 8) ter Riet G, et al.: A randomized clinical trial of ultrasound in the treatment of pressure ulcers. *Physical Therapy*, 76: 1301-1312, 1997.
- 9) Ebenbichler GR, et al.: Ultrasound treatment for treating carpal tunnel syndrome: randomized sham controlled trial. *BMJ*, 316: 731-735, 1998.
- 10) Scott J, et al.: Graphic representation of pain. *Pain*, 2: 175-184, 1976.
- 11) Dyson M: Non-thermal cellular effects of ultrasound. *Br J Cancer Supply V*, 45: 165-171, 1982.
- 12) Dyson M: Mechanisms involved in therapeutic ultrasound. *Physiotherapy*, 73: 116-120, 1987.
- 13) Fyfe M: The effect of ultrasound on experimental oedema in rats. *Ultrasound Med Biol*, 6: 107-111, 1980.
- 14) Fyfe M: The effect of single or repeated applications of "therapeutic" ultrasound on plasma extravasation during silver nitrate induced inflammation of the rat hindpaw ankle joint in vivo. *Ultrasound Med Biol*, 11: 273-283, 1985.
- 15) Mortimer AJ, et al.: The effect of therapeutic ultrasound on calcium uptake in fibroblasts. *Ultrasound Med Biol*, 14: 499-506, 1988.
- 16) Enwemeka CS, et al.: The effect of therapeutic ultrasound on tendon healing. *Am J Phys Med Rehabil*, 68:283-287, 1989.
- 17) Enwemeka CS, et al.: The biomechanical effects of low-intensity ultrasound on healing tendons. *Ultrasound Med Biol*, 16: 801-807, 1990.
- 18) Gan BS: The effects of ultrasound treatment on flexor tendon healing in the chicken limb. *Journal of Hand Surgery. (British and European Volume)* 20B: 809-814, 1995.
- 19) Nancy N. Byl: Low-dose ultrasound effects on wound healing: A controlled study with Yucatan pigs. *Arch Phys Med Rehabil*, 73: 656-664, 1992.
- 20) Hashish I, et al.: Anti-inflammatory effects of ultrasound therapy: Evidence for a major placebo effect. *British Journal of Rheumatology*, 25:77-81, 1986.
- 21) Harvey W, et al.: The stimulation of protein synthesis in human fibroblasts by therapeutic ultrasound. *Rheumatology and Rehabilitation*, 14: 237, 1975.
- 22) Dyson M, et al.: The production of blood cell stasis and endothelial damage in the blood vessels of chick embryos treated with ultrasound in a stationary wave field. *Ultrasound Med Biol*, 1: 133-140, 1974.
- 23) Roberts M, et al.: The effect of ultrasound on flexor tendon repairs in the rabbit. *The Hand*, 14: 17-20, 1982.
- 24) Hogan RD, et al.: The effect of ultrasound on hemodynamics in skeletal muscle, Effects during ischemia. *Microvascular Research*, 23: 370-379, 1982.
- 25) Ward RS, et al.: Evaluation of topical therapeutic ultrasound to improve response to physical therapy and lessen scar contracture after burn injury. *J Burn Care Rehabil*, 15: 74-79, 1994.
- 26) Goddard DH: Ultrasound has no anti-inflammatory effect. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 42: 582-584, 1983.
- 27) Jackson BA: Effect of ultrasound therapy on the repair of achilles tendon injuries in rats. *Med Sci Sports Exerc*, 23: 171-176, 1991.
- 28) Binder AI: Lateral Humeral Epicondylitis. A study of natural history and the effect of conservative therapy. *British Journal of Rheumatology*, 22: 73-76, 1983.
- 29) Stevenson JH, et al.: Functional, mechanical and biochemical assessment of ultrasound therapy on tendon healing in the chicken toe. *Plast Reconstr Surg*, 77: 965-970, 1986.