

スポーツ現場における超音波治療法

葛 原 憲 治
井 口 順 太

目 次

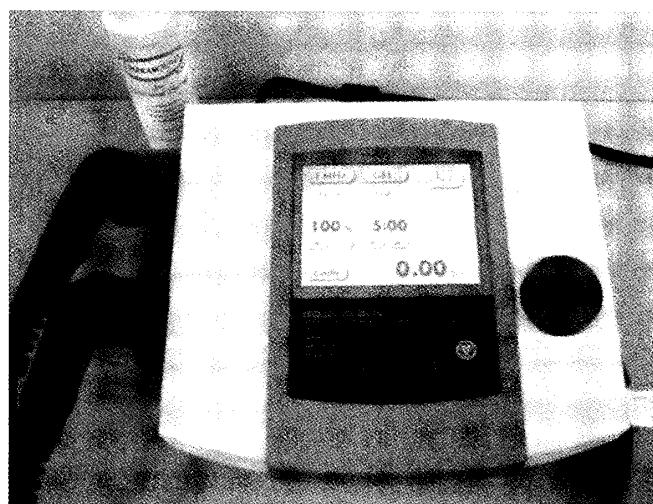
1. 緒言
2. 超音波出力のパラメーター
3. 超音波の効果
4. 超音波治療の実際
5. 超音波治療のプロトコール

1. 緒言

アメリカのスポーツ現場において、超音波治療法はよく用いられる温熱療法の一つである。日本では、病院やスポーツクリニックなどの理学療法として用いられているが、治療中に常に導子を動かしてはならないことや、患部への媒介物質の使用や後始末等で時間と労力が取られる印象が強いため使用頻度はあまり高くはない [1]。しかし、アメリカのスポーツ現場では、捻挫、肉離れ、腱鞘炎などのスポーツ傷害に対してよく用いられる治療方法である。

超音波治療法は、周波数の違い (0.8~3 MHz) により温熱作用と非温熱作用がある (図1)。超音波発生装置からの電気出力は、クリスタルで作られたトランスデューサーを通して機械的振動に変換される。この機械的振動が音波を生じさせ、その音波のエネルギーが生体組織を通過したり吸収したりする。この吸収率は、

図1 超音波治療器



組織のタイプ、超音波の周波数 (Hz)、強度 (W/cm^2) によって異なる。そのエネルギーは、超音波ジェルや水などの媒体を通してトランスデューサーから組織に伝達する。出力の形態は、連続波形とパルス波形があり、出力強度は、通常 $0.1\sim 2.5W/cm^2$ の範囲で設定できる。超音波の作用として温熱作用と非温熱作用があり、温熱作用をもたらすのに連続波形が用いられ、非温熱作用 (機械的作用) をもたらすのにパルス波形が用いられる。この非温熱作用は、細胞の拡散率、細胞膜の浸透性、神経の伝達に影響を及ぼし、また、コラーゲンの合成を加速させる。つまり、組織の修復を促進したり、腫れを軽減させたり、トリガーポイントの治療をする時な

どに非温熱作用を用いる [2]。一方、連続波形は、組織に温熱作用をもたらし、血流量の増加、筋 spasms の軽減、関節の硬さの軽減、痛みの軽減、亜急性や慢性の炎症の軽減、コラーゲンの伸張性増大などの効果をもたらす [2]。また、超音波エネルギーは、皮下組織に薬を浸透させることや骨折の治癒を促進させることにも用いられる [2], [3]。

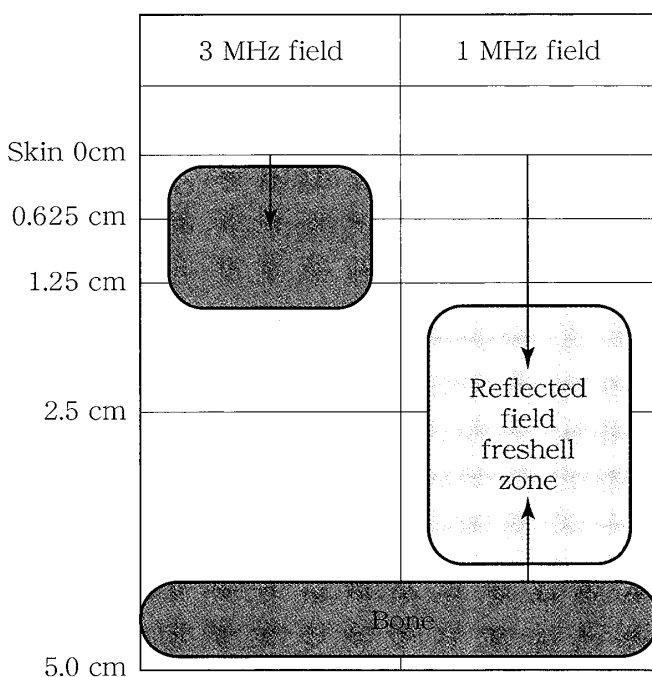
ここ近年、日本のスポーツ現場においても超音波治療が用いられるようになったが、残念ながら適切な設定で治療が行われていないのが現状である。そこで、超音波治療が治療目的に応じた適切な設定で治療効果を上げるために、適切な出力パラメーターの設定方法、効果的な治療手順、そして、傷害別の治療プロトコルを探求することを目的とする。

2. 超音波出力のパラメーター

1) 周波数

強度が超音波の浸透力の深さを決定するとい

図2 周波数による治療域の違い



Denegar, 2000, Therapeutic modalities for athletic injuries, 156-176より引用

う誤りを多くのセラピストが持っている。組織への浸透力の深さは、強度によるものでなく、周波数に依存する。1 MHzの周波数は約2~5 cmの深部まで温めることが可能であり、3 MHzの周波数は、約2 cmまでの表皮の部分で吸収される [2], [4]。したがって、超音波の周波数が小さくなれば、表皮組織でのエネルギーの吸収率は小さくなり、深部へ浸透しやすくなる [2], [5] (図2)。しかしながら、Hayesら [6]によると、3 MHzの周波数において、通常テキストに書かれている深さ (2 cmまで) より、深い部位 (2.5 cm) の組織を効果的に治療できることが報告されている。

2) 強度

一般的に使用されている強度は、1.0~1.5 W/cm²である。深部組織を治療する場合は、1.5 W/cm²以上の強度を用い、浅部組織を治療する場合は0.5 W/cm²くらいの低強度を用いることを勧める著者もいる [7]。例えば、周波数1 MHz、強度2.0 W/cm²で、4℃の温度上昇をさせる場合、約10分の治療時間を必要とする。そこで、選手が途中で熱すぎると訴えたならば、直ちにその強度を1.5 W/cm²まで下げるであろう。しかし、ほとんどの場合、その強度を調節するだけで、治療時間が再考慮されることはほとんどなかった。したがって、ここで忘れてはならないことは、4℃の温度上昇を期待するの

表1 超音波の温度上昇率 (℃/分)

強度 (W/cm ²)	1MHz	3MHz
0.5	0.04℃	0.3℃
1.0	0.2℃	0.6℃
1.5	0.3℃	0.9℃
2.0	0.4℃	1.4℃

Draper & Richard, 1995, Journal of Athletic Training, 30 (4), 304-307より引用

であれば、強度を下げた分だけ、治療時間を2分延長しなければその効果は半減するということである。超音波治療をするにあたり、組織にどのくらいの温度上昇をさせ、治療目的を達成するかということが最も重要なキーとなるために、治療目的に応じて、強度と時間が選択されるべきである [8] (表1)。

し、血流量を増大し、そして慢性の炎症を軽減する。また、3~4℃以上の温度上昇（高温温熱作用）は、コラーゲンの伸張性を増大し、交感神経活動を抑制したりする。Draperら [11]によると、1 MHzの周波数による温度上昇は、強度1.0W/cm²を用いた場合は0.2℃/分、強度1.5 W/cm²を用いた場合は0.3℃/分であり、また、3 MHzの周波数による温度上昇は、強度1.0W/cm²を用いた場合は0.6℃/分、強度1.5 W/cm²を用いた場合は0.9℃/分であることが報告されている。したがって、可動域を増大させるといった目的で超音波治療をするのであれば、3~4℃の温度上昇を期待する高温設定が必要である。例えば、3~4℃以上の温度上昇を期待するために、1.5W/cm²の強度で1 MHzの周波数の場合、約10~12分の治療時間が必要である。また、3 MHzの周波数であれば、約3~4分の治療時間で充分である。このように、治療時間は、使用する強度、周波数、どのくらいの温度上昇が必要かという治療目的によって決

3) 治療時間

最近のテキストブックや指導書によると、治療時間は5~10分というのが一般的であり、長すぎたり、短すぎたりで非常に曖昧にされている部分である [7], [9], [10]。時間を設定する前に、セラピストは、治療される部位の大きさ、強度の強さ、患者が必要とする治療目的及び効果を考えなければならない。[2], [4] (図3)。例えば、通常の筋温は、36~37℃であり、1℃の温度上昇（低温温熱作用）は、組織の新陳代謝を促進する。2~3℃の温度上昇（中温温熱作用）は、筋スパズムや痛みを軽減

図3 超音波による治療効果



効果	温度上昇	症状
非温熱効果 (音圧効果)	なし 37.5常温	急性の怪我、腫れ 組織の修復促進
低温温熱効果	1度上昇 38.5	亜急性の怪我や炎症 組織の新陳代謝の促進
中温温熱効果	2度上昇 39.5	筋スパズムや痛みの軽減 慢性の炎症の軽減
高温温熱効果	4度上昇 41.5	コラーゲンの伸張性の増大

Draper, 1996, Athletic Training: Sports Health Care Perspectives, 2 (2), 95-107より引用

定されなければならない。

超音波による治療期間に関しては、通常、10～14日間までとなっている [2]。10～14日後、この治療の効果があるかどうかをチェックし、治療効果がなければ傷害の再評価をし、痛みや違和感の原因を確認する必要がある [2]。

4) 治療範囲及び導子の選択

ホットパックやウォールプールの利点は、大きな範囲を暖めることができることである。超音波は、小さい範囲を局所的に温めるために開発されたものである。しかし、特に、背中あるいは腰などの大きな部位を治療するために、超音波の導子を広範囲にわたって動かしているのをよく目にする。治療範囲が大きすぎると、超音波エネルギーが拡散してしまい、患部に対して十分な温熱作用がもたらされない。適切な治療範囲は、トランスデューサーの有効照射面積 (Effective Radiating Area: ERA) の約2～3倍の範囲である [4], [12] (図4)。通常、ト

図4 適切な治療範囲 (ERAの2～3倍)



ランスデューサーの全表面から超音波エネルギーが出力されると思われがちだが、これは大きな誤解である。したがって、有効照射面積 (ERA) は、トランスデューサーの表面積より

常に小さいことになるので、治療範囲を決める時には必ずERAを考慮し、広範囲の部位を治療するにはいくつか分割して治療を行う必要がある。また、治療部位によって導子の大きさを選択する必要がある。例えば、治療部位が大きい場合 (大腿部や下腿部など) は、トランスデューサーが大きい導子を選択し、治療部位が小さい場合 (足指や手指などの関節や筋) はトランスデューサーが小さい導子を選択する (図5)。

図5 トランスデューサーの選択



超音波の導子は、毎秒約4 cmのスピードで動かすことが望ましい [4], [9]。このスピードが速すぎると、超音波のエネルギーが十分に吸収されず、組織の温度上昇が期待できない。また、導子を動かすスピードは、ビーム不均等率 (Beam Nonuniformity Ratio: BNR) に依存し、BNRの低い機器を選択し、上記のスピードでゆっくりと動かすことが重要である [4]。

超音波の導子を動かさないで治療するという固定法は、パルス波形の使用時の時でさえも避けるべきであり、固定法による問題点は次の通りである [13]。

① 音波の流れが一点に集中するために、血液細胞が小さい血管に押し込められことで、一

時的に血流が断続された状態になることがある。

- ② 同様の現象のために、静脈の内壁に損傷が生じたり、血小板が集積されることによって血管が詰ったりする可能性もある。
- ③ ビームの不均等が一点に集中することで、組織の火傷が生じる可能性がある。

5) 治療モード (連続波形とパルス波形)

連続波形は温熱作用をもたらす、パルス波形 (あるいは間欠波形) は非温熱作用、すなわち音圧効果 (機械的効果) がもたらされる。超音波の連続性の指標として、照射時間率 (%) で下記の通り表される [2]。

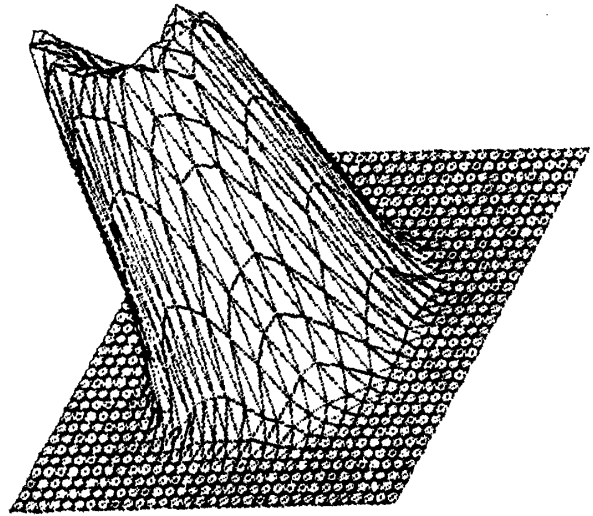
$$\text{照射時間率 (\%)} = \frac{\text{照射時間}}{\text{照射時間} + \text{休止時間}} \times 100$$

温熱作用を目的とする場合は、照射時間率が100%である連続波形を用いる。非温熱作用を目的とする場合は、照射時間率が5~50%のパルス波形を用いる。パルス波形の一般的な設定は、照射時間率が20~25%程度で、強度は1.0W/cm²前後を用いる [14]。最近では、骨折治療などで0.3W/cm²以下という低強度の設定で、照射時間率を100%にして用いる場合がある [14]。

6) ビーム不均等率 (Beam Nonuniformity Ratio: BNR)

ビーム不均等率 (BNR) とは、トランスデューサーの表面からの出力が均一に出てこないのを、その平均出力に対して最大出力の比率のことをいう [2], [4], [12] (図6)。例えば、BNRが8 : 1の機器で治療する場合、強度を1.0W/cm²に設定した際、強度が8.0W/cm²になる部分がどこかで存在するということである。このBNRが高ければ、組織の火傷 (Hot Spots) を避けるために、導子をより速く動かさなければ

図6 ビーム不均等率 (BNR)



Starkey, 1999, Therapeutic modalities, 269-304より引用

ばならない。逆に、このBNRが低ければ、より均等にビームが出力されるため、導子をゆっくり動かしながら、より効率的な温熱作用が提供できる。

また、患者自身の心地よさ (痛みの感覚も含む) にもかなり差が生じ、BNRが高いと痛みを感じやすくなる [4]。したがって、超音波治療をする際には、患者が適切に熱を感じ、目的に応じた温熱作用を達成するためにもBNRの低い機器 (6 : 1 ~ 2 : 1) を使用することが望ましい [12]。

7) 媒介物質

超音波は、空気中は伝達されないため、間接的に伝導させる媒体である超音波ジェルが必要となってくる。ここ近年、フォノフォリーシス (Phonophoresis) という、超音波の機械的効果によって薬の分子を体内に注入するというテクニックが用いられている。このテクニックでは、副腎皮質クリーム (1% or 2% hydrocortisone cream) という薬剤を超音波ジェルと混ぜ合わせた媒体を用いて超音波治療を行うものであ

る。ここ最近、市販の鎮痛クリームを超音波ジェルと混ぜ合わせて、フォノフォリーシスと同様に超音波治療が行われている。Draperら [4] の報告によると、50%のフレクソール (Flex-All) と50%の超音波ジェル、50%のバイオフィリーズ (Biofreeze) と50%の超音波ジェル、そして、100%の超音波ジェルのそれぞれを使った場合の組織の温度上昇を観察したところ、100%超音波ジェルを使った時のほうが、最大の温熱効果が見られた。むしろ、市販の鎮痛クリームとジェルを混ぜ合わせたものを使った場合、本来の目的である温熱効果を減少させた (表2)。したがって、最大の温熱効果を得たい場合は、他の市販クリームを混ぜることなく、100%の超音波ジェルを用いて超音波治療をするのが最も効果的である [4], [15]。

表2 媒介物質の違いによる超音波の温度上昇率 (°C/分)

深さ	50/50フレクソール :超音波ジェル	50/50バイオフィリーズ :超音波ジェル	100%超音波ジェル
3cm	2.8°C	2.8°C	3.4°C
5cm	1.8°C	1.8°C	2.5°C

Draper, 1996, Athletic Training: Sports Health Care Perspectives, 2 (2), 95-107より引用

しかしながら、Myrerら [16] は、周波数3 MHz、強度1.0W/cm²で1 cmの浅部組織を治療する際に、超音波ジェル (Aquasonic 100) とネイチャーズ・ケミスト (Nature's Chemist) あるいはバイオフィリーズ (Biofreeze) を1:1で混ぜ合わせても効果的な媒介物質であり、特に、超音波ジェルとネイチャーズ・ケミストを1:1で混ぜ合わせた媒介物質を用いた場合の方が、超音波ジェルだけを用いた場合や超音波ジェルとバイオフィリーズを1:1で混ぜ合わせた場合と比べて、温度上昇も早く、温熱効果も持続していることを報告している。Oshikoyaら [17] は、周波数1 MHz、強度

1.5W/cm²で5 cmの深部組織を治療する際に、超音波ジェルを事前に18°Cに冷やしておく場合や39°Cに温めておく場合と比べて、室温25°Cのままのジェルを用いた方がより効率的に温熱効果をもたらしたことを報告している。また、5 cmの深部組織に対して4°C以上の高温温熱効果を得るためには、室温25°Cのままのジェルを用い、治療時間は最低10分間必要であることを明らかにしている。

伝導媒体である超音波ジェルと共によく用いられる媒体が水である。手の指や足の指などの小さくて骨格が突出した部位を治療する場合に、超音波の水中法がよく用いられる。Draperらの研究 [18] によると、周波数1 MHz、強度1.5W/cm²、治療時間10分間で、超音波ジェルを用いた場合と水道水を用いた場合とで温度上昇を比較したところ、超音波ジェルを用いた場合は4.8°C、水道水を用いた場合は2.1°Cの温度上昇があり、2.7°Cの温度差が見られた。このことから水道水を用いた水中法は、ジェルを用いた方法に比べて高温温熱効果を得るためには適した方法でないことが明らかとなった。最近、水中法に、水道水でなく、蒸留水やガス抜きの水を用いる場合があるが、今後ジェルを用いた方法との検討が必要とされる。

水中法以外の間接的な方法としては、袋状法 (Bladder method) やジェルパッド法がある [2], [12]。袋状法は、水中法では適さない部位や骨格が突出した部位を治療する場合に用いられ、水で満たされたプラスチック袋 (あるいは風船) を患部に置き、超音波ジェルを袋の底 (皮膚及び患部と接触している側) とトップ (超音波ヘッドと接触している側) に付けて超音波治療をする方法である。ジェルパッド法も同様の手法で用いられるが、ジェルパッドの底 (皮膚及び患部と接触している側) とトップ (超音波ヘッドと接触している側) に超音波ジェル

を用いる必要があるかどうかは議論の余地がある。Bishopら [19] は、周波数 3 MHz、強度 1.0W/cm²、治療時間10分でジェルパッド法を用いた超音波治療法の検証を行った結果、ジェルパッドの底とトップの両面に超音波ジェルを用いた方が、ジェルパッドのトップ面だけに超音波ジェルを用いた場合に比べて、短時間で効果的に組織温度が上昇することを報告している。

3. 超音波の効果

1) 非温熱効果 (音圧効果)

非温熱効果をもたらすためにはパルス波形が用いられる。この非温熱効果は、細胞の拡散率、細胞膜の浸透性、神経の伝達に影響を及ぼし、また、コラーゲンの合成を加速させる。つまり、組織の修復を促進したり、浮腫を軽減させたり、トリガーポイントの治療をするときなどに非温熱作用を用いる [2]。

Starkey [14] によれば、非温熱作用において、炎症の残骸を取り除く食作用の活性化やイオンの電気伝導量を増加させることによって、細胞膜の透過性や細胞の増殖を促進させ、フィブリン溶解を促進することができると述べている。このようにして炎症期の進行を加速させ、増殖期への移行を早めるのが非温熱作用の大きな特徴であると言える。

非温熱効果はマイクロストリーミング (Microstreaming) とキャビテーション (Cavitation) という 2つの現象によってその効果を発揮する。Johns [20] は、「マイクロストリーミングは、イオンや小さな分子を移動させることができる音波の物理的な力」であると定義している。つまり、超音波によって引き起こされる機械的な圧力によって細胞膜周辺で起こる組織液の流れ現象をいう [2], [12]。Johns [20] によると、「キャビテーションは、

液体中の微小ガス上に生じる音波の物理的な力」であると定義している。つまり、キャビテーションとは、トランスデューサー内のクリスタルの膨張・圧縮に合わせて、体内に生じたガス気泡が圧縮されたり、希薄化されたりする現象をいう [2], [12]。この二つの現象によって、一時的に細胞を傷つけて成長遅滞を引き起こすが、タンパク質合成が増加することによって細胞の修復反応を促進させることになる [20]。

2) 温熱効果

最大の温熱効果を得るためには、通常、連続波形が用いられる。しかし、周波数 (3 MHzあるいは 1 MHz)、強度 (W/cm²)、治療時間、治療する組織の種類、導子を動かす速度などによって組織の温度上昇に影響を及ぼす。この温熱効果は、血流量の増加、筋スパズムの軽減、関節の硬さの軽減、痛みの軽減、亜急性や慢性の炎症の軽減、コラーゲンの伸張性増大、瘢痕組織の軽減などである [2], [4]。組織の温度上昇によって温熱効果は異なるので、治療目的に合わせて周波数、強度、治療時間を考慮する必要がある。

4. 超音波治療の実際

超音波治療する際には、適応と禁忌を十分に理解しておく必要がある。超音波治療における適応は、関節拘縮、筋スパズム、神経腫、瘢痕組織、交感神経障害、トリガーポイントの部位、イボ、けいれん、化骨性筋炎の軽減 (急性期を過ぎた場合)、急性期の炎症 (パルス波形を使う場合のみ)、慢性の炎症などである [2]。特に、急性期の炎症を軽減する場合、治療モードを間違えると症状を悪化させることになるので注意する必要がある。この場合、パルス波形により非温熱効果が期待できるが、急性期の症状

を考慮しながら使うタイミングを考える必要があると思われる。禁忌に関しては、急性傷害（連続波形を使う場合）、虚血性の部位、出血しやすい部位、目の周辺・心臓・頭蓋骨・性器、悪性腫瘍の部位上、脊髄や神経叢上に過量する場合、感覚麻痺した部位、修復前の骨折部位上、疲労骨折部位、感染部位上、妊娠中あるいは生理中の女性患者の骨盤・腰椎の部位上、循環不全の部位などである [2]。通常、骨折に関しては禁忌であるが、最近、低出力強度（30mW/cm²）の超音波治療器による骨折治療結果が報告されている [3], [21]。

通常、スポーツ現場において、超音波治療を受けてから選手を練習に送りだし、ウォームアップあるいはストレッチをするという光景をよく見かける。しかし、しばしば、ミーティング、着替え、あるいは遠征の出発時間などによって「超音波してからストレッチ」というプロセスを中断せざるをえない状況がある。超音波治療後、どれくらいの中断時間が経ったかによって、温められた組織の温度は下降し、最大の伸張性を得ることはできない。最大の伸張性を得ることができる組織の温度の持続時間を「ストレッチング・ウィンドウ」と規定している [8]。Draperら [8] は、周波数 3 MHz による超音波治療後の組織の温度変化を観察し、組織の温度上昇が 3℃以上（高温温熱作用）を持続できたのは、治療後わずか 3.3分であった。また、周波数 1 MHz による超音波治療後の組織の温度変化も同様に観察したが、治療後わずか 2分で 1℃下降し、5.5分後には 2℃下降した [22]。つまり、表皮の組織であろうが、深部の組織であろうが、治療後の組織温度は急激に下降するということが明らかとなった。このストレッチング・ウィンドウを最大限に生かすためには、超音波治療中あるいは直後にストレッチを実施することが望ましい。このストレッチング・ウ

ィンドウの考え方を検証するために、下腿三頭筋に対して周波数 3 MHz、強度 1.5W/cm²で 7 分間の超音波治療（4 倍の ERA 範囲）直後にストレッチをした場合と超音波治療なしでストレッチのみを実施した場合の足関節の背屈可動域を比較したところ、超音波直後にストレッチを実施した場合の方が即効的な柔軟性の効果は見られたが、持続的な柔軟性の効果はいずれの場合も大きな違いは見られなかった [23]。

超音波治療前に、患部にアイシングを 5～10 分することによって、組織密度が増大し、温熱効果が向上するという考え方がある [7], [9]。Draperらの研究 [24] によると、5 分間のアイシング後、周波数 1 MHz、強度 1.5W/cm²で 10 分間の超音波治療をした際の 5 cm の深部組織の温度変化を観察した。アイシングにより 0.5℃の温度の下降が見られ、10 分後はわずか 1.8℃の温度上昇が見られただけであった。通常、アイシングなしの状態では超音波治療をした場合は、約 3～4℃の温度上昇が生じ、高温温熱効果が得られるが、中温温熱効果程度（1.8℃）の温度上昇しか得られなかった。また、15 分間アイシングをしてからの超音波治療による温度変化を見ても、3 cm の深さの組織温度は 6℃下降し、それから、超音波による温度上昇はわずかに 0.8℃であった [25]。このように、超音波の温熱効果を期待するのであれば、超音波治療前のアイシングは避けるべきである。また、アイシングによる鎮痛作用により、超音波の強度に対する組織の温度感覚が麻痺し、組織が火傷をする可能性もある。しかし、急性時において、パルス波形による超音波治療は、痛みを軽減し、治癒を促進する目的でアイシングと併用できるかもしれない。

超音波治療前に、患部を 15 分間ホットパックで温めてから、周波数 1 MHz、強度 1.5W/cm²で 10 分間の超音波治療による浅部組織（1 cm）

と深部組織（3 cm）の温度変化を観察した研究 [26] では、1 cmの浅部組織ではホットパックによる温度上昇が顕著であり、3 cmの深部組織では超音波による温度上昇が顕著であった。全体的な組織の温度上昇は、3 cmの深部組織（4.42℃）より1 cmの浅部組織（4.44℃）の方が大きかったが、4℃以上の高温温熱効果を得るためには、深部及び浅部組織に対して事前にホットパックで15分間温めてから超音波治療を行うことが効果的であり、超音波の照射時間を2～3分短縮できる利点もある。

膝蓋靭帯に対する超音波治療（周波数3 MHz、強度1.0W/cm²）において、治療範囲の違いによる組織の温度上昇を比較したところ、有効照射面積の4倍（4×ERA）より、有効照射面積の2倍（2×ERA）の範囲を治療する方が組織の温度上昇が早くかつ高いことが明らかとなった [27]。いずれの範囲を治療する場合も、4分以内に4℃以上の高温温熱効果がもたらされ、2×ERAの場合は8.3℃の膝蓋靭帯の温度上昇が見られ、4×ERAの場合は5.0℃の温度上昇が見られた。したがって、膝蓋靭帯の超音波治療において、高温温熱効果を目的とするならば、周波数3 MHz、強度1.0W/cm²で2×ERAの範囲を約4分間実施するプロトコルが推奨される。

5. 超音波治療のプロトコル

1) 慢性テニス肘

D'Vaz ら [28] は、慢性テニス肘の患者を実際に低強度パルス波形の超音波治療を行うグループとそうでないグループ（プラシーボグループ）に分けて、12週間にわたって以下のプロトコルで治療を実施した。12週間後、グループ間での有意差は認められなかったものの、実際に超音波治療を受けたグループの約6割の患者の症状が改善したと報告している（表3）。

表3 慢性テニス肘のプロトコル

治療部位	最も圧痛を感じる上腕骨外側上顆付近
治療期間	12週間
治療頻度	1回/1日
治療時間	20分間
治療モード	パルス波形
周波数	1.5 MHz
強度	30 mW/cm ²

2) 肩のインピンジメント症候群

Johansson ら [29] は肩のインピンジメント症候群の患者を超音波治療と針治療のグループに分け、また、両グループ共にローテーターカフのエクソサイズも実施した。超音波治療のグループに関しては、以下のプロトコルで治療を行った。結果として、針治療のグループの方が症状の改善幅が大きかったが、両グループ共に患者の症状が改善されたと報告している（表4）。

表4 肩インピンジメント症候群のプロトコル

治療部位	肩峰の前面と側面の8～10cm ² の範囲
治療期間	5週間
治療頻度	2回/1週間
治療時間	10分間
治療モード	連続波形
周波数	1.0 MHz
強度	1.0 W/cm ²

3) 脛骨骨幹部の閉鎖骨折/グレード1の開放骨折

Heckman ら [21] は、脛骨骨幹部の閉鎖骨折あるいはグレード1の開放骨折（グレード1：切開を必要としない開放骨折をいう）の患者に対して低強度パルス波形の超音波治療を行うグループとそうでないグループ（プラシーボ

グループ)に分けて、20週間にわたって治療を実施したところ、超音波治療を受けたグループのほうが有意に治癒するまでの期間が短かったことを報告している(表5)。

表5 脛骨骨幹部の閉鎖骨折/グレード1の開放骨折のプロトコール

治療部位	骨折患部の周辺
治療期間	20週間
治療頻度	1回/1日
治療時間	20分間
治療モード	パルス波形
周波数	1.5 MHz
強度	30 mW/cm ²

4) 腱板炎、上腕二頭筋・上腕三頭筋の腱炎、膝蓋靭帯炎

Penderghest らの研究 [30] によると、腱板炎、上腕二頭筋・上腕三頭筋の腱炎、膝蓋靭帯炎の患者をフォノフォリーシスとパルス波形の超音波治療を受けるグループと薬物を何も含まない通常の超音波ジェルとパルス波形の超音波治療を受けるグループに分け、5～10日間で5回の治療を行った。ただし、それぞれの治療セッション間のインターバルを24～48時間おいた。また、両グループ共に、患部の強化エクソサイズ、ストレッチ、アイシングも実施した。

表6 腱板炎、上腕二頭筋・上腕三頭筋の腱炎、膝蓋靭帯炎のプロトコール

治療部位	患部周辺(浅部:2～3cm)
治療期間	5～10週間
治療頻度	5回/5～10日
治療時間	5分間
治療モード	パルス波形(照射時間率20% :フォノフォリーシス)
周波数	3.0 MHz
強度	1.0 W/cm ²

両グループにおいて、フォノフォリーシス使用の有無に関わらず、強化エクソサイズ、ストレッチ、アイシングによって経時的に痛みが軽減したことが明らかとなった(表6)。

引用文献

- [1] 内山 覚「創傷治癒に対する超音波療法」篠原英記、鶴見隆正編『理学療法MOOK 5 物理療法』三輪書店、2000年、pp.79-83.
- [2] Starkey, C., 1999, "Ultrasound", in *Therapeutic modalities*, 2nd ed. Philadelphia, PA, F. A. Davis Company, pp. 269-304.
- [3] 角田雅也、水野耕作「骨折治癒に対する超音波療法」篠原英記、鶴見隆正編『理学療法MOOK 5 物理療法』三輪書店、2000年、pp.74-78.
- [4] Draper, D.O., 1996, "Ten mistakes commonly made with ultrasound use: current research sheds light on myths", *Athletic Training: Sports Health Care Perspectives*, Vol.2. No.2, pp. 95-107.
- [5] Draper, D.O. & Sunderland, S., 1993, "Examination of the law of grotthus-draper: Does ultrasound penetrate subcutaneous fat in humans?", *Journal of Orthopaedic Sports and Physical Therapy*, Vol.28 No.3, pp. 246, 248-250.
- [6] Hayes, B.T., Merrick, M.A., Sandrey, M.A., & Cordova, M.L., 2004, "Three-MHz ultrasound heats deeper into the tissues than originally theorized", *Journal of Athletic Training*, Vol.39 No.3, pp. 230-234.

- [7] Spiker, J.C., 1990, "Ultrasound" , in *Therapeutic modalities in sports medicine*, 2nd ed. Prentice, W.E., St. Louis, MO, Times Mirror/Mosby College Publishing, pp. 129-147.
- [8] Draper, D.O. & Richard, M.D, 1995, "Rate of temperature decay in human muscle following 3MHz ultrasound: the stretching window revealed" , *Journal of Athletic Training*, Vol.30 No.4, pp. 304-307.
- [9] Arnheim, D.D. & Prentice, W.E., 1993, "Therapeutic modalities" , in *Principles of athletic training*, 8th ed. St. Louis, MO, Mosby-Year Book, pp. 308-346.
- [10] Prentice, W.E., 2006, "Using therapeutic modalities" , in *Arnheim' s principles of athletic training: a competency-based approach* , 12th ed. New York, McGraw-Hill Companies, pp. 400-439.
- [11] Draper, D.O., Castel, J.C., & Castel D., 1995, "Rate of temperature increase in human muscle during 1MHz and 3MHz continuous ultrasound" , *Journal of Orthopaedic Sports and Physical Therapy*, Vol.22 No.4, pp. 142-150.
- [12] Denegar, C.R., 2000, "Ultrasound, diathermy, and electromagnetic fields" , in *Therapeutic modalities for athletic injuries*, Champaign, IL, Human Kinetics, pp. 156-173.
- [13] Gann, N., 1991, "Ultrasound: Current concepts" , *Clinical Management*, pp. 64-69.
- [14] Starkey, C., 2004, "Therapeutic Ultrasound" , in *Therapeutic modalities*, 3rd ed. Philadelphia, PA, F. A. Davis Company, pp. 156-173.
- [15] Ashton, D.F., Draper, D.O., & Myrer, J.W., 1998, "Temperature rise in human muscle during ultrasound treatments using flex-all as a coupling agent" , *Journal of Athletic Training*, Vol.33 No.2, pp. 136-140.
- [16] Myrer, J.W., Measom, G.J., & Felling-ham, G.W., 2001, "Intramuscular temperature rises with topical analgesics used as coupling agents during therapeutic ultrasound" , *Journal of Athletic Training*, Vol.36 No.1, pp. 20-26.
- [17] Oshikoya, C.A., Shultz, S.J., Mstry, D., Perrin, D.H., Arnold, B.L., & Gansneder, B.M., 2000, "Effect of coupling medium temperature on rate of intramuscular temperature rise using continuous ultrasound" , *Journal of Athletic Training*, Vol.35 No.4, pp. 417-421.
- [18] Draper, D.O., Sunderland, S., Kirkendall, D.T., & Richard, M., 1993, "A comparison of temperature rise in human calf muscles following applications of underwater and topical gel ultrasound" , *Journal of Orthopaedic Sports and Physical Therapy*, Vol.17 No.5, pp. 247-251.
- [19] Bishop, S., Draper, D.O., Knight, K.L., Feland, J.B., & Eggett, D., 2004, "Human tissue-temperature rise during ultrasound treatments with the aquaflex gel pad" , *Journal of Athletic Training*, Vol.39 No.2, pp. 126-131.

- [20] Johns, D. L., 2002, "Nonthermal effects of therapeutic ultrasound: The frequency resonance hypothesis" , *Journal of Athletic Training*, Vol.37 No.3, pp. 293-299.
- [21] Heckman, J. D., Ryaby, J. P., McCare, J., Frey, J. J., & Kilcoyne, R. F., 1994, "Acceleration of tibial fracture-healing by non-invasive, low-intensity pulsed ultrasound" , *Journal of Bone & Joint Surgery*, Vol.76, pp. 26-34.
- [22] Rose, S., Draper, D.O., Schulthies, S.S., & Durrant, E., 1996, "The stretching window part two: Rate of thermal decay in deep muscle following 1-MHz ultrasound" , *Journal of Athletic Training*, Vol.31 No.2, pp. 139-143.
- [23] Draper, D.O., Anderson, C., Schulthies, S.S., & Richard, M.D., 1998, "Immediate and residual changes in dorsiflexion range of motion using an ultrasound heat and stretch routine" , *Journal of Athletic Training*, Vol.33 No.2, pp. 141-144.
- [24] Draper, D.O., Schulthies, S., Sorvisto, P., Hautala, A., 1995, "Temperature changes in deep muscles of humans during ice and ultrasound therapies: An in vivo study" , *Journal of Orthopaedic Sports and Physical Therapy*, Vol.21 No.3, pp. 153-157.
- [25] Rimington, S.J., Draper, D.O., Durrant, E., & Fellingham, G., 1994, "Temperature changes during therapeutic ultrasound in the precooled human gastrocnemius muscle" , *Journal of Athletic Training*, Vol.29 No.4, pp. 325-327.
- [26] Draper, D.O., Harris, S.T., Schulthies, S., Durrant, E., Knight, K.L., & Richard M., 1998, "Hot-pack and 1-MHz ultrasound treatments have an additive effect on muscle temperature increase" , *Journal of Athletic Training*, Vol.33 No.1, pp. 21-24.
- [27] Chan, A.K., Myrer, J.W., Measom, G.J., & Draper, D.O., 1998, "Temperature changes in human patellar tendon in response to therapeutic ultrasound" , *Journal of Athletic Training*, Vol.33 No.2, pp. 130-135.
- [28] D'Vaz, A.P., Ostor, J.K., Speed, C.A., Jenner, J.R., Bradley, M., Prevost, A.T., & Hazleman, B.L., 2006, "Pulsed low-intensity ultrasound therapy for chronic lateral epicondylitis: a randomized controlled trial" , *Rheumatology*, Vol.45, pp. 566-570.
- [29] Johansson, K.M., Adolfsson, L.E., & Foldevi, M.O.M., 2005, "Effects of acupuncture versus ultrasound in patients with impingement syndrome: randomized clinical trial" , *Physical Therapy*, Vol. 85 No.6, pp 490-501.
- [30] Penderghest, C.E., Kimura, I.F., & Gulick, D.T., 1998, "Double-blind clinical efficacy study of pulsed phonophoresis on perceived pain associated with symptomatic tendinitis" , *Journal of Sport Rehabilitation*, Vol.7, pp. 9-19.

葛原憲治

所属：愛知東邦大学 人間学部人間健康学科

〒465-8515 名古屋市名東区平和が丘3-11

担当：超音波治療に関する出力パラメーター（周波数、強度、治療時間、治療範囲及び導子の選択、治療モード、ビーム不均等率、媒介物質）の研究と超音波治療の実際（適応と禁忌、最大効果を得るための治療手順）に関する研究を担当した。

井口順太

所属：同志社大学 スポーツ支援課

〒610-0394 京都府京田辺市多々羅都谷1-3

担当：超音波治療に関する超音波の効果（非温熱効果及び温熱効果）の研究と傷害別の治療プロトコールに関する研究を担当した。