

## 8. 超音波治療の最新動向

立花 克郎 福岡大学医学部医学科解剖学講座

近年、超音波による生体の画像化技術は、目覚ましい発展を遂げてきた。超音波画像診断は、臨床の場ではなくてはならない画像診断技術の一つとなった。一方、超音波の治療応用は、1950年代からさまざまな疾患へ試みられていたが、最近の10年における飛躍的な技術進歩により、循環器領域から悪性腫瘍の治療まで広く普及し始めた。本稿では、超音波治療の現状と最新の技術動向について概説する。

### 超音波治療のメカニズム

超音波治療は、大きくは超音波の生体への温熱効果と非温熱効果に分類できる(表1)。超音波エネルギーは時間的・空間的に集束することで超音波振動から熱エネルギーに変換され、生体組織の加熱作用による不可逆的変化が起こる。この原理を利用して選択的に病的組織を死滅させられる。一方、熱エネルギーへの変換を伴わない超音波の振動による非温熱効果(機械的刺激)を利用したものに骨折治療、薬物併用療法などがある。両者の作用メカニズムにはそれぞれ長所、短所があり、適応疾患および治療装置の形態など多様化が進んでいる。超音波治療のメカニズムは未解明な点が多く、技術的にも発展途上段階ではあるが、今

後期待される新しい治療法である。

### 強力集束超音波療法

生体組織への温熱効果を利用した超音波治療で、最初に世界的に普及したのは、強力集束超音波療法(high intensity focused ultrasound: HIFU)である。イスラエルのInSightec社が世界で初めて開発した「ExAblate」シリーズ超音波治療装置は、MRIの画像と組み合わせることで患部に超音波エネルギーを体外から体内組織の一点に集束し、組織を加熱凝固できる(図1)。子宮筋腫に対して、2004年にFDAに認可された。現在では、この治療法は日本、欧米、中国を中心に導入されている。診断用MR画像と多数の超音波発振素子を球面上に配列した円盤型トランスデューサからの治療用超音波を組み合わせることで治療を進める。数mm単位の精度で体内の局在した標的部位に超音波を集束し、発生した熱で病的組織を非侵襲的に焼いていく。そのほかの会社からも同様のHIFU装置は発売されているが、一般的には超音波強度は1kW/cm<sup>2</sup>以上、1000~2000パルス、周波数も0.5~7MHzの間のもが多い。MRIで組織の温度上昇をモニターできる面でも、安全性に優れてい

る。しかし、HIFUには、いくつかの解決しなければならない問題もある。体表の皮膚の熱傷、治療時間が長いことと肺・消化管内のガスによって治療位置が制限されることなどの欠点は、超音波トランスデューサの改良と照射プロトコールソフトウェアの工夫で今後、徐々に解決できると思われる。

### 超音波によるがん治療

世界中でがんへのHIFUは研究されている。少なくとも30件の治験が現在進行中であり(NIH, ClinicalTrials.gov, 2016年1月調べ)、数年後にはその成果が報告される予定である。乳がん、膵臓がん、肝臓がん、脳腫瘍、骨転移など多岐にわたる疾患が含まれている。国内では、Sofuniらが30例の膵臓がん患者(ステージⅢ:16例, ステージⅣ:14例)に化学療法または放射線療法とHIFUを併用した評価結果を報告している。その結果は、腫瘍サイズの縮小は認められなかったが、66.7%で症状の緩和が認められた<sup>1)</sup>。また、スペインのグループは、膵臓がん患者48例(ステージⅢ:29例, ステージⅣ:14例)のうち、82%で“臨床反応”(CT画像にて腫瘍の60%以上アブレーション)と13か月の平均生存期

表1 超音波の効果

温熱効果	温熱効果+非温熱効果	非温熱効果
強力集束超音波療法(HIFU)	リハビリ用超音波マッサージ機, 超音波ホモジェナイザー, 超音波洗浄器	超音波血栓溶解療法, 診断用超音波, 超音波骨折治療, 歯科超音波スクレーパー, 超音波美顔器, 超音波歯ブラシ