103 超音波による人体の大腿骨断面形状測定

Ultrasonic Measurement on Sectional Form of Human Femur

正 水口義久 (山梨大)

○ 渡辺 功 (山梨大院)

荒田純平 (山梨大)

相川良人 (山梨大医)

Yoshihisa MINAKUCHI, University of Yamanashi, 4-3-11 Takeda, Kofu-shi, Yamanashi

Isao WATANABE, University of Yamanashi, 4-3-11 Takeda, Kofu-shi, Yamanashi

Jumpei ARATA, University of Yamanashi, 4-3-11 Takeda, Kofu-shi, Yamanashi

Yoshihito AIKAWA, University of Yamanashi, 1110 Shimokato, Tamaho-cho, Nakakoma-gun, Yamanashi

Key Words : Ultrasonic Wave, Focused Probe, Femur Thickness

1. 緒言

人工股関節ステムと骨との間に生じるゆるみの早期診断は、単純 X 線像や核磁気共鳴画像(MRI) ⁽¹⁾ などでは難しいようであり、また、人体に有害であるという問題もある。この問題を解決するための手段として、著者らはこれまでに超音波パルス反射法により、人体の大腿骨断面形状 ⁽²⁾ や人工股関節ステムと大腿骨との間に生ずるゆるみ測定 ⁽³⁾ などの研究を行ってきた。しかし、これらの超音波測定では、凹凸がある大腿骨内面からのエコー波形が必ずしも明瞭に得られず、骨内面位置を正確に測定できにくいという問題があった。

本研究では、人体の大腿部皮膚上より大腿骨に向けて、振動周波数が異なる超音波ビームを集束させた集束探触子と垂直探触子を用いて超音波を入射させ、大腿骨の断面形状を測定した。そして得られた測定結果を X 線 CT 像と比較し、超音波によって得られた大腿骨の断面形状の測定精度を検討した。

2. 超音波パルス反射法の測定原理

超音波は音響インピーダンス (音速×密度) の異なる媒質の境界面に入射すると、一部は反射し残りは透過する性質がある。よって、探触子から照射された超音波が大腿部の内部に伝搬されると、大腿骨の外表面と内面からエコーが生じ、そのエコー位置から求められる伝搬時間により筋肉や大腿骨の厚さを測定することができる。

3. 実験方法

図 1 は、超音波を用いて人の大腿骨の断面形状を測定するため、測定装置を右大腿部に取り付けた測定状態の被験者の足元から見た断面図を示す。図中の探触子には垂直探触子 (振動子直径 $d:13\text{mm}$, 中心振動周波数 $f:1\text{MHz}$) および集束探触子 ($d:13\text{mm}$, $f:1\text{MHz}$, 焦点距離 $F:80\text{mm}$), ($d:13\text{mm}$, $f:5\text{MHz}$, $F:50\text{mm}$) の 3 種類を用いた。これらは案内板により、リングに沿って大腿部の円周方向 (θ) および半径方向 (Z 軸) に移動させることが可能である。超音波の入射位置は初期位置をリングの最上とし、その場

Fig.1 Measuring device on sectional form of human femur.

所からリングに沿って 6° 間隔に設定した。そして、超音波の音速を人の大腿部筋肉の伝搬速度 V_m に設定し、各入射位置において超音波を大腿部の皮膚上から大腿骨に向けて入射させ、大腿骨の外表面と内面のエコー位置を測定した。このとき、大腿骨内外面のエコー波形が明瞭に得られるように、探触子を球面ソケットに沿って大腿骨の軸方向 (X 軸) と X 軸に垂直な Y 軸方向に傾けて、位置決めを行った。そして、測定後に大腿部筋肉の伝搬速度 V_m が大腿骨の音速 V_b と異なることを考慮して大腿骨前面の断面形状を 2 次元表示した。なお、大腿部の音速 V_m , 大腿骨の音速 V_b は測定結果により 1537m/s , 3570m/s と設定した。

以上で得られた大腿骨断面形状の測定結果は X 線 CT 像と比較した。

4. 実験結果及び考察

図 2(a), (b), (c) は、垂直探触子および 2 種類の集束探触子を用いて、被験者の右大腿部の膝先端から 220mm の位置、大腿部最上より $\theta=42^\circ$ の位置で得られたエコー波形である。横軸の Z は振動子面から大腿骨方向への距離を、縦軸はエコー高さを示す。図中の①は筋肉と大腿骨、②は大腿骨と骨髄の境界面からのエコー波形である。図 2(a), (b) より、振動周波数が 1MHz で等しいときのエコー波形は、垂直探触子より集束探触子を用いた方が明瞭に現れている。また、探触子の振動周波数が 1MHz から 5MHz と高くなると、超音波の減衰が大きくなり、大腿骨内面からのエコーは判別しにくくなっていることがわかる。

図 3(a), (b), (c) は図 2 に示したエコー波形をもとに 2 次元表示した超音波による大腿骨の断面形状と X 線 CT 像である。図中の○と△印は大腿骨外表面と内面を示す。超音波による大腿骨の外表面形状は X 線 CT 像とほぼ同じ形状を示しているが、大腿骨の内側では部分的に乱れている箇所がみられた。この原因として、肉が厚い大腿部の内側では、超音波の減衰が大きく、正確な位置を検出しにくかったことが挙げられる。大腿骨の内面形状をみると、振動周波数が 1MHz のときは、集束探触子を用いた場合の方が垂直探触子の場合よりエコー波形が明瞭に得られ、X 線 CT 像とほぼ一致する形状が得られた。しかし、大腿骨の内面部分でプロットに若干のばらつきがみられた。これは、大腿骨の内側では、海綿骨が部分的に存在し、設定した大腿骨中の音速 V_b との誤差が考えられることや骨内での超音波の減衰が大きく、エコー出力が小さく、正確な位置を検出しにくかったことが挙げられる。また、振動周波数の高い 5MHz の集束探触子を使用すると、 1MHz のものに比べ、大腿骨内面からのエコーを明瞭に検出しづらく、大腿骨の断面形状は正確に測定しづらかった。

5. 結言

超音波パルス反射法を用いて人体の大腿骨断面形状を測

定し、以下のような結論を得た。

- (1) 集束探触子および垂直探触子を用いて超音波パルス反射法により人の大腿骨の断面形状を測定できた。
- (2) 集束探触子を用いた場合は垂直探触子の場合に比べエコー波形が明瞭に得られ、正確な大腿骨断面形状が得られやすかった。
- (3) 探触子の振動周波数が1MHzから5MHzと高くなると、大腿骨内面からのエコーを正確に検出しにくくなり、大腿骨の断面形状は正確に測定しにくくなる傾向を示した。

参考文献

- (1) 喜多寛・宗円聡, インプラント存在下でのMRI, 関節外科, 10-5 (1991), pp. 464-470.
- (2) 水口義久・井出隆俊 他, 集束探触子を用いた大腿骨断面形状の超音波測定, 日本臨床バイオメカニクス学会誌, 20 (1999), pp. 113-118.

(a) : Normal probe ($f=1\text{MHz}$)

(b) : Focused probe ($f=1\text{MHz}$, $F=80\text{mm}$)

(c) : Focused probe ($f=5\text{MHz}$, $F=50\text{mm}$)

Fig.2 Echo wave forms presenting outside of femur and inside of femur. ($\theta=42^\circ$)

- (3) 水口義久・井出隆俊 他, 超音波による人工股関節システムのゆるみ測定の基礎研究, 日本臨床バイオメカニクス学会誌, 15 (1994), pp. 463-466.

(a) : Normal probe ($f=1\text{MHz}$)

(b) : Focused probe ($f=1\text{MHz}$, $F=80\text{mm}$)

(c) : Focused probe ($f=5\text{MHz}$, $F=50\text{mm}$)

Fig.3 Section of femur using ultrasonic wave and X-ray CT. (○: Outside of femur, △: Inside of femur)