

うず電流センサーを用いた人工股関節ステムの 微小移動の測定

報告者：大阪厚生年金病院整形外科
齊藤正伸

〔伊丹〕それでは、「うず電流センサーを用いた人工股関節ステムの微小移動の測定」というご研究ですが、大阪厚生年金病院の齊藤正伸先生、どうぞよろしく申し上げます。

〔齊藤〕平成4年10月より、日本股関節研究振興財団より助成をいただき、うず電流センサーを用いた人工股関節ステムの微小移動（マイクロモーション）の測定をテーマに研究を行いましたので、報告いたします。

〔はじめに〕

セメントレス人工関節は、ポーラス、ファイバーメッシュ、あるいはバイオアクティブ・セラミックスなどでコーティングされた人工関節表面にボーン・イングロースが起り、骨と固定される。この固定、すなわちバイオロジカル・フィクセーションを得るためには、人工関節の初期固定が重要で、Pilliarらは人工関節のマイクロモーションはボーン・イングロースを阻害することを報告した。

初期のセメントレス人工股関節置換術の不良例の反省から、セメントレスステムのマイクロモーションが注目され、多くの研究結果が報告されている。その多くはエレクトロカルトランスデューサーを用いたインビトロスタディーで、人工股関節ステムのデザインの開発、改良に寄与してきた。

しかし、その大半は初期固定に関するもので、ボーン・イングロースとマイクロモーションの関係はいまだ明らかではない。我々は人工関節の開発のための動物実験の中で、うず電流マイクロセンサーを使って経時的にマイクロモーションを評価することを最終目的に今回の実験を行った。

〔方法〕

金属の導体板上に距離を隔ててコイルをセットし、このコイルに交流電流を流すと磁束がコイルから発生し、金属板はこれを受けて、この磁束と反対方向にうず巻き状の電流が流れる。これがうず電流である。このうず電流は必然的にコイルのインピーダンスに変化を与える。このインピーダンスの変化は導体板の性質や温度が一定のとき、導体板に対するコイルの変位を変数とする関数であらわれ、電流変位センサーとして使用できる。

このセンサーの特徴は非接触で測定可能であり、導電性物質に覆われない限り、周囲の影響を受けない点である。今回使用した導体板は1×1cmのステンレスで、この導体板の変位を1ミクロン単位で2mmまで連続して測定し、デジタル表示できる。この導体板を人工股関節ステムに固定し、大腿骨内でのステムのマイクロモーションを測定した。

このセンサーの先端部分は直径5mm、

長さ 8 mm と小さく軽量である。これを骨に固定可能なプローブケースと一体化し、脱着可能なケーブルでテスターに接続して計測した。

セメントレス人工股関節ステムの初期固定を調査する目的で、ホルマリン固定した 6 本の屍体大腿骨を用いた。また、変形性股関節症に対し、セメント人工股関節置換術施行後 1 年で死亡した 1 症例の大腿骨を摘出し、今回の調査対象に含めた。

今回のような生体力学実験には新鮮屍体骨の使用が好ましいが、入手困難なため、ホルマリン固定した大腿骨を用いた。

Ashmanらはホルマリン固定骨ではわずかに弾性率が低下するのみと報告し、実際にホルマリン固定骨を生体力学研究に用いた研究も見られる。

今回使用したセメントレス人工股関節は AML、Lübeck、PCA の 3 種類で、おのおの 2 本ずつである。用意した 6 本の屍体大腿骨に対し、2 方向単純 X 線撮影を行

い、テンプレートで最も適当なステムサイズを決定した。屍体大腿骨に対するステムの設置は、各人工関節の専用の手術器具を使用して正確に行った。

セメント人工股関節の 1 症例は人工股関節置換術後 1 年で直腸ガンのため死亡したが、X 線像で人工関節のゆるみや大腿骨へのガンの転移はなく、全身状態が悪化するまでの約 6 カ月間は歩行可能であった。

摘出した大腿骨は骨頭から 26cm 遠位部で切断し、大腿骨下端は直接台座に接触させて固定した。荷重方向は大腿骨長軸に対し、10 度内側に傾くよう大腿骨をセットした。ロードセルにてステムに垂直方向の負荷をかけた。1 回の負荷は 18 秒間である。3 秒間で 150kg 重に達し、そのまま 6 秒間保持した後、次の 3 秒間で再び負荷ゼロに戻した。その後、6 秒間は負荷ゼロを保持し、再び負荷を開始した。このパターンの負荷を連続 3 回ずつ 2 度行った。(図 1)

ステムの近位外側部、セメントレスステ

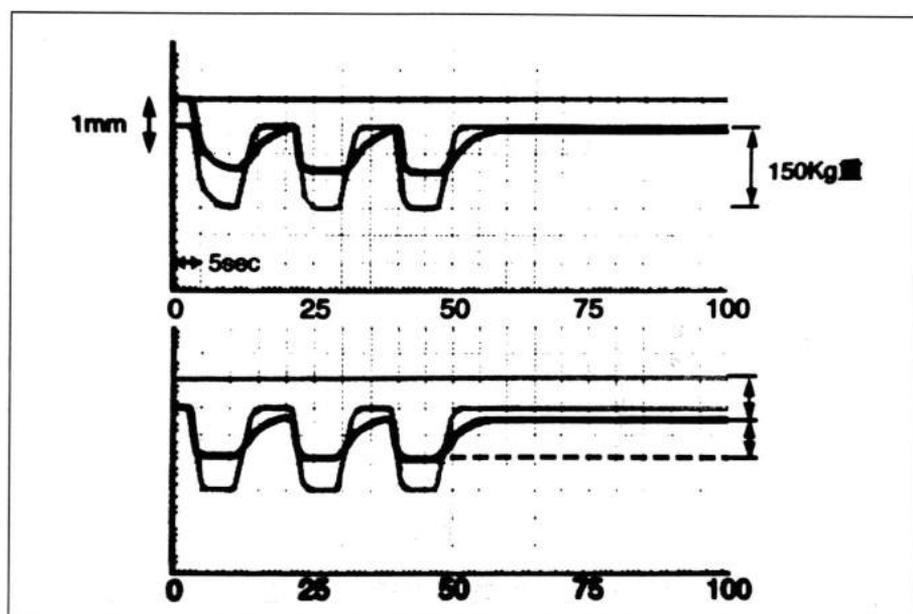


図 1 荷重パターンとロードセルの移動距離 (PCAステムの例)

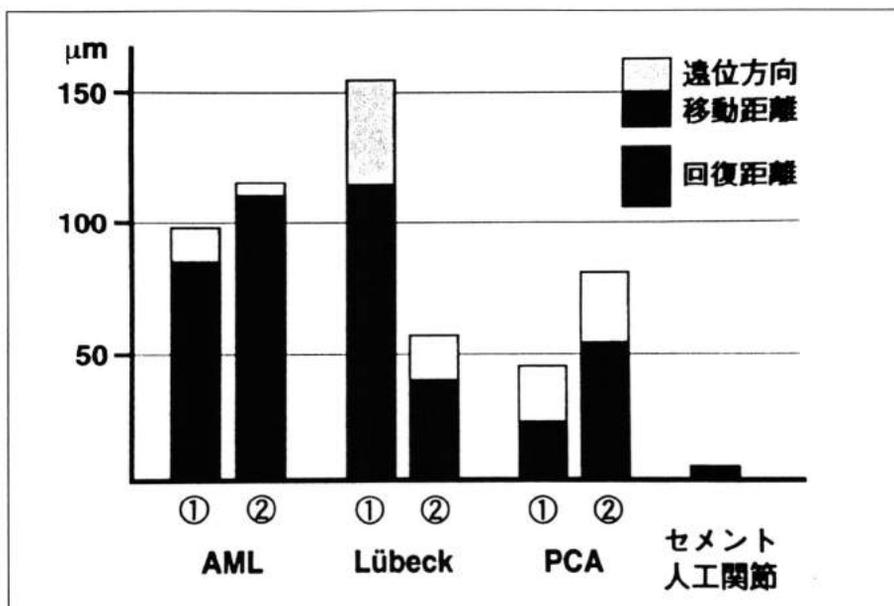


図2 各人工関節ステムのマイクロモーション
(回復距離がマイクロモーションを表す。)

ムでは、打ち込み用の穴があいている部分に導体板を固定し、マイクロセンサーは導体板と平行になるように大転子部にスクリューで固定した。テスターにデジタル表示された値は大転子を基準としたステムの移動の長軸方向成分である。同時にロードセルの移動距離も計測した。2回目以降は安定した曲線が得られたため、2回目から6回目の5回分の移動距離を平均して結果に示した。

【結果】

PCAステムの1例の測定結果を図1に示す。上端の直線が基線、すなわち移動距離ゼロを示し、振幅の大きいラインがロードセルの負荷、小さいラインがロードセルの移動である。ロードセルは遠位方向へ1,400ミクロン、回復方向へ700ミクロン移動しているが、これは大腿骨自身のたわみを含んでいる。実際にはマイクロセン

サーで計測したステムの移動は大転子を基準として遠位方向に45ミクロン、回復方向に25ミクロンであった。この回復方向への移動がステムのマイクロモーションで、本例では25ミクロンであった。

マイクロセンサーで計測した6本のセメントレスステムと1本のセメントステムの移動距離を図2に示した。棒グラフの下、回復距離がマイクロモーションで、セメントレスステムでは25から110ミクロンであったが、セメントステムでは9ミクロンと、セメントレスシステムに比べ小さかった。セメントレスシステムの中ではAMLが約100ミクロン、Lübeckではばらつきが大きく、PCAでは約40ミクロンであった。

【考察】

今回の実験は、最近のエレクトロカルトランスデューサーを用いたWhitesideやMaloneyらの研究と比べると、以下のよ

うな不十分な点がある。回旋方向のマイクロモーションを計測しなかったこと、繰り返し荷重が少なかったこと、外転筋力を無視したことである。これらの問題点は技術的には解決可能と考えられるが、そのため、今回の実験は、うず電流センサーを用いてマイクロモーションが計測できることが示された点で意味があり、各システムの優劣を述べるには不十分である。

すでに報告されているマイクロモーションの測定結果は、各実験間で条件の違いが大きく、それらの正確さを判定するのは困難である。Butlerらの電気カルトランスデューサーを用いた研究は、今回の実験と比較的条件が等しく、結果もPCAセメントレスシステムの長軸方向へのマイクロモーションは43ミクロン、セメントシステムは10ミクロン以下とほぼ同様であり、うず電流センサーの正確さが示されたと考えている。

一方、最近のより正確な実験条件下では、セメント、セメントレスシステムの差は回旋方向の計測をしないと判明しないという報告もあり、今後我々の実験システムも改良

が必要である。

インビトロの研究では、電気カルトランスデューサーに比べ、うず電流センサーは経済的な面以外では利点は少ないが、本センサーは非接触性であることから、手術中の不安定性の測定や動物実験での経時的なマイクロモーションの計測に応用できると考えている。

【まとめ】

うず電流マイクロセンサーを使って、人工股関節システムのマイクロモーションを測定した。セメントレスシステムでは25から110ミクロンのマイクロモーションが見られたが、セメントシステムでは10ミクロン以下であった。

本研究にご協力いただいた丸岡先生、塩崎先生、菅野先生、前田先生並びに西村氏に深謝します。また、本研究に助成していただいた日本股関節研究振興財団に深謝します。どうもありがとうございました。

【伊丹】ただいまのご研究にご質問ございませんか。どうもありがとうございました。