

主論文の要旨

**Experimental study of the characteristics of
various types of filling coils for intracranial
aneurysm embolisation**

頭蓋内動脈瘤塞栓用フィリングコイルの
特性に関する実験研究

名古屋大学大学院医学系研究科 総合医学専攻
脳神経病態制御学講座 脳神経外科学分野

(指導：若林 俊彦 教授)

伊藤 真史

【緒言】

脳動脈瘤塞栓術においてコイル塞栓率を上昇させることは、動脈瘤の再発を防ぐための重要な要素である。そのためには術中の状況に適したコイルを選択することが重要となる。コイル塞栓術のプロセスは3つの段階、すなわちフレーミング、フィリング、およびフィニッシングに分けられる。このうちフィリングコイルはフレーミングコイル内に充填され、塞栓率を上昇させる目的で使用される。しかし、フィリングコイルは先に留置されたコイル塊の内部に挿入されるため、挙動および分布をX線撮影で観察することが困難である。そのためフレーミングコイル内にコイルを充填する場合の性能については、いまだ十分に検討されていない。

今回我々は、シリコン動脈瘤モデル内に放射線透過性コイルを充填し、塞栓形成過程を模擬した。そのうえで、挿入したフィリングコイルをX線撮影で視覚化し、各種フィリングコイルの特性を調べた。

【材料および実験方法】

動脈瘤モデルと放射線透過性コイル

シリコン動脈瘤モデルは、親動脈のT字型分岐部に位置する円形動脈瘤の形状であり、瘤サイズは直径8mm ネック1.5mmであった。

フレーミングコイルとして用いる放射線透過性コイルはナイロン糸で作られており、透視下では視認できなかった。一次コイル径は0.014インチで、コイル剛性は18型 standard コイルと同等であった。

実験的塞栓

動脈瘤の中央にマイクロカテーテルの先端を配置した。(図1A)放射線透過性コイルを充填して約15%の塞栓率とし、塞栓の初期段階をシミュレートした。(図1BC)実験的塞栓術は機械を用いて一定条件で行い、コイルの挿入速度は1.0mm/s・長さは8cmとした。データはコイルごとに5回測定した。Target、Cashmere、Galaxy、Axiom、Cosmosは三次元形状のコイルで、ED Coilはヘリカルループを有するコイル、ED Coil Infiniは形状記憶のないほぼ直線形状のコイルである。これらのコイルは、本施設で実際の動脈瘤塞栓術を行っているときに使用しているフィリングコイルである。

評価方法

コイル特性を客観的に評価するため、挿入後の形状にて評価した。画像解析ソフトウェア(Pict Area)を用いて、挿入されたコイル形状の「面積」、「円形度」、「重心位置」の3つの指標を分析した。コイル塊の円周をプロットすると上記の3つの指標が自動的に計算される。(図1DE)

「面積」はコイル塊の大きさであり、どのぐらいの広がりをもって挿入されたかを示す。「円形度」は、コイルがどのぐらい丸く分布しているかを示す。「重心位置」は、コイルが瘤内のどの位置に留置されたかを示す。さらに面積および円形度の「変動係数」も評価した。変化係数は、挿入されたコイル形状の再現性を示す。

統計解析は、SPSS を使用して実施した。Kruskal-Wallis 分析を 7 つのコイル間の分散分析に使用した。統計的有意性を P 値<0.05 とした。

【結果】

各コイルの代表的な画像を図 2 に示す。

面積

コイル面積は 13.0~20.3mm² の範囲であり、動脈瘤領域(50.2mm²)の 25.9~40.4% であった。複数のコイル間の比較において有意差を認めた (P=0.02)。Target、Axium、Galaxy、Cashmere で大きく、Cosmos、ED Coil Infini がそれに続き、ED Coil が最も小さかった。

円形度

円形度の値は 0.44~0.77 の範囲であった。複数のコイル間の比較において有意差を認めた (P<0.01)。ED Coil、Cosmos、Target で高く、Axium、Cashmere、Galaxy がそれに続き、ED Coil Infini が最も低かった。

重心位置

コイル塊の重心位置は、動脈瘤のネックから 4.1mm~5.4mm の範囲であった。複数のコイル間の比較において有意差を認めた (P<0.01)。Cashmere、Galaxy、Axium の重心位置は中心の近くにあり、Cosmos と Target が続いた。ED Coil と ED Coil Infini では比較的奥に位置していた。

変動係数

面積の変動係数は 0.042~0.260 の範囲であった。ED Coil Infini と ED Coil のスコアが高く、Galaxy、Cashmere、Target、Cosmos がそれに続き、Axium のスコアが最も低かった。円形度の変動係数は 0.051~0.256 の範囲であった。ED Coil Infini のスコアが最も高く、Target、Cashmere、ED Coil、Cosmos、Galaxy がそれに続き、Axium のスコアが最も低かった。

各評価指標と一次コイル径の関係

上記の 5 つの評価指数と一次コイル径との相関を調べた。重心位置と一次コイル径のみが有意な相関を示した (P=0.04)

【考察】

コイル特性

本研究で用いたフィリングコイルは、(1)ヘリカルコイル(2)低形状記憶コイル(3)3次元形状コイル に分類される。

ヘリカルコイル：ED Coil

円形度と重心位置スコアが最も高く、面積が最も低かった。マイクロカテーテルの奥に圧縮されたコイル塊が発生する傾向があると言える。コイルの挿入中のビデオからは、空いているスペースにコイルループが連続的に蓄積されていた。ED Coil はコ

コンパクトなスペースでの塞栓に適していることを示唆している。

低形状記憶コイル：ED Coil Infini

最も低い円形度、2番目に高い重心位置スコア、および最も高い変動係数を有していた。コイルの挿入中のビデオからは、コイルループが放射線透過コイルの隙間を通って入り、空いている離れた空間内でランダムにループを形成することがあった。この結果は、ED Coil Infini が不規則な空間や離れたスペースを塞栓するのに適していることを示唆している。

3次元形状コイル：Target, Cashmere, Galaxy, Cosmos, Axiom

3次元形状コイルは、実際の臨床診療における塞栓術において最も広く使用されている。そこで本研究では5つコイルを調べた。

共通して高い面積および円形度のスコアを有していた。大きく均衡のとれた分布となる可能性が高く、3次元形状コイルがフレームコイル内で均一に塞栓するのに適していることを示唆している。5種類のコイル間の分析では、Target が比較的高い面積と重心位置スコアを有し、Galaxy が低い円形度スコアを有した。Axiom は、最も高い再現性を示した。Cashmere と Cosmos は、すべての指数において平均スコアであった。

一次コイル径との相関

面積・円形度と一次コイル径には相関は見られなかった。重心位置は一次コイル径と相関しており、一次コイル径が小さいほど重心位置スコアは高かった。一次コイルの径が小さいファイリングコイルは、フレーミングコイルの隙間を通過してマイクロカテーテル先端からより深い位置に留置される可能性がある。

【結語】

放射線透過性コイルを用いて各種ファイリングコイルの特性を評価した。この結果から、状況に応じた適切なファイリングコイルを選択するために有用な情報を得られることが示唆された。