

論文種別：テクニカルノート

論文タイトル：

4種類のマイクロカテーテルにおけるシェーピング特性の比較
—らせん形状への整形性と形状保持力—

著者名

1. 藤本道生、2.糸川博、3.森谷匡雄、4.岡本紀善、5.笹沼仁一

所属施設

新百合ヶ丘総合病院 脳神経外科（著者全員）

連絡著者の氏名／連絡先

藤本道生

所属施設：新百合ヶ丘総合病院／脳神経外科

住所：神奈川県川崎市麻生区古沢都古 255

電話番号：044-322-9991

メールアドレス：michio1974111@gmail.com

キーワード

microcatheter, steam shaping, shapability

宣言：本論文を、日本脳神経血管内治療学会 機関誌「JNET Journal of Neuroendovascular Therapy」に投稿するにあたり、筆頭著者、共著者によって、国内外の他雑誌に掲載ないし投稿されていないことを誓約致します。

要旨

目的：4種類のマイクロカテーテルを比較し、従来よりも形状をつけやすく工夫された新しいマイクロカテーテル（Headway 17とExcelsior XT 17）の特性を評価した。

方法：カテーテル先端を約4mmの円周状に1周、2周、3周と整形した後に、37℃生理食塩水に留置し、シェイピング直後と10分後の形状変化を比較した。

結果：シェイピング直後はカテーテル間の形状差はなく、10分後ではHeadway17とXT 17の形状がよく保持されていた。

結論：Headway 17とExcelsior XT 17はExcelsior SL 10とEchelon 10よりも高い形状保持力を持ち、整形性が維持されることが示された。

諸言

脳動脈瘤に対するコイル塞栓術において、バルーンやステントなどのデバイスを駆使することで、様々な形状・大きさの動脈瘤にも対応できるようになってきているが、マイクロカテーテルを瘤内の適切な位置に安定して留置することは、脳動脈瘤塞栓術の基本であり、治療結果を左右する重要な要素である。現在、あらかじめ形状のついたマイクロカテーテルが発売されているが、こうしたカテーテルがすべての動脈瘤に応用できるわけではない。時にはらせん形状にシェイピングしたマイクロカテーテルが有効な症例もあり、症例に合わせて適切なカテーテル形状を作ることが求められる。そのためには既存のマイクロカテーテルの特性を理解することが必要である。過去にはシェイピングの容易な **non-braided type** のマイクロカテーテルが使用されていたが、現在では **pushability** や安定性に優れた **braided type** のマイクロカテーテルが使用されている。さらに **braided type** のマイクロカテーテルにおいても、より容易にシェイピングが可能でかつ安定性に優れた新しいマイクロカテーテルが登場してきている。そこで現在国内で販売されているマイクロカテーテルのうち、4種類のマイクロカテーテルを比較し、カテーテルシェイピングにおける特性の検討を行ったので、考察を加えて報告する。

対象・方法

各種マイクロカテーテルの比較

従来のマイクロカテーテルとして、Excelsior SL 10(Stryker, Kalamazoo, MI, USA), Echelon 10 (Medtronic, Minneapolis, MN, USA)を用い、新しいマイクロカテーテルとして、Headway 17 (MicroVention TERUMO, Tustin, CA, USA), Excelsior XT 17(Stryker, Kalamazoo, MI, USA)を用いて、これらの4種類のマイクロカテーテルを比較した。

シェイピングマンドリルを通したマイクロカテーテルを直径4mmの円柱に巻き付けて、1周、2周、3周とらせん形状をつけたのちに、30秒間のスチームシェイプを行った(Fig. 1A,B,C)。カテーテル先端を37℃に設定した生理食塩水内に10分間留置し、マイクロガイドワイヤーの先端2cmがでるまでマイクロカテーテル内を出し入れを10回行い、形状の変化を観察した。マイクロカテーテルは、1周、2周、3周の各形状に対して、それぞれ新しい製品を使用してスチームシェイプを行った。シェイピング直後のカテーテル形状と10分間経過後のカテーテル形状について、回転直径(円周状にシェイピングされたカテーテルの直径)と回転角度(円周の開始点からカテーテル先端までの回転角度)の変化を計測して比較した(Fig 1D,E)。

結果

1 周、2 周、3 周の各形状について、スチームシェイプ直後と 37℃生理食塩水に 10 分間留置後の各カテーテルの形状を Figure 2 に示す。

1. シェイピングマンドリルを 1 周させた場合 (Fig. 2A)

シェイピング直後の形状は、いずれのカテーテルも約半周程度（4 種類のカテーテルの平均回転角度：204 度）の形状となり、カテーテルの直径は平均で 8.7mm と、シェイピングマンドリルの倍程度の長さとなり、各カテーテル間に顕著な差は認められなかった。また 37℃生理食塩水に留置後の形状を比較しても、各カテーテル間に顕著な差は認められなかった。

2. シェイピングマンドリルを 2 周させた場合 (Fig. 2B)

シェイピング直後の形状には 4 種類のカテーテルとも顕著な差はなく、平均で 1.2 周（平均回転角度：472 度）ほどの形状が残り、円周の直径は平均 7.7mm でありシェイピングマンドリルの倍程度となっていた。しかし 37℃生理食塩水に 10 分間留置後には各種カテーテルに違いが現れ、XT 17 と Headway 17 に比べ、SL 10 と Echelon 10 では形状変化が大きかった。XT 17 と Headway 17 には顕著な差は認めなかった。

3. シェイピングマンドリルを 3 周させた場合 (Fig. 2C)

マイクロカテーテルを 3 周させた場合には、4 種類のカテーテルともシェイピング直後に平均 1.8 周（平均回転角度：671 度）

ほどの形状が残っていた。円周の直径は平均 7.9mm であり、1 周、2 周の場合と同様にシェイピングマンドリルの倍程度であり、各カテーテル間に顕著な差は認められなかった。しかし 37℃ 生理食塩水に 10 分間留置すると、2 周させた場合よりも大きな差が認められ、平均回転角度は小さく（回転形状がほどける）、円の直径も延長する（円が大きくなる）傾向となった。しかしながら XT 17 と Headway 17 における形状変化は同等であり、Echelon 10 と SL 10 に比べて形状が保たれていた。

Figure 2 で示した各カテーテルの回転角度と回転直径の測定結果を Figure 3,4 に示す。スチームシェイプ直後のカテーテル形状に関しては、各カテーテル間に顕著な差はないが、37℃ 生理食塩水に 10 分間留置すること、および強い形状をつけることにより違いが明確となり、4 種類のカテーテルの比較では、Headway17 と XT 17 が同程度の高い形状保持力を示した。

考察

多種多様の脳動脈瘤塞栓用のコイルが開発され、以前では治療に難渋した不整形やワイドネックの脳動脈瘤に対しても治療が可能となってきたが、依然として安定したマイクロカテーテルの留置が重要であることにはかわりはない。

今回検討した 4 種類のカテーテルは、いずれも先端外径は 1.7Fr であり、内腔の素材には polytetrafluoroethylene (PTFE) が用いられている。内径は SL 10 のみ 0.0165 inch であり、その他

の 3 種類は 0.017 inch とやや広い (Table 1)。口径が同じにも関わらず各社のマイクロカテーテルに違いが生じる要因の一つとしてマイクロカテーテルの補強構造が挙げられる。

一般的に **braided type** のマイクロカテーテルは **non-braided type** のものと比較し、形状がつきにくく、形状が保持されにくいという欠点があるが、末梢への誘導性に優れ、シェイピング後のカテーテルの短縮や内腔の変形が少ないという利点があるため、現在は主流となっている^{1,2)}。Abeらは操作後のマイクロカテーテルの形状変化について、FasTracker10(Stryker, Kalamazoo, MI, USA)、Excel 14(Stryker, Kalamazoo, MI, USA)、Excelsior SL-10、Prowler 14(Codman & Shurtleff, Johnson & Johnson, Raynham, MA, USA)を比較検討し、**braided catheter** の中では SL-10 が最も形状変化が少なかったと報告している³⁾。

今回検討した 4 種類のマイクロカテーテルは、いずれも **braided type** であるが、それぞれ材質や構造の異なる組み合わせで製造されている。さらに構造や材質以外にも Echelon 10 ではカテーテルの位置により網目構造の密度を変化させ、Headway 17 ではカテーテル先端部の PTFE を薄くすることで、先端形状がつきやすくなるように工夫がされている。このように同じ **braided type** のマイクロカテーテルであっても性質が異なるが、今回の結果からはいずれのマイクロカテーテルもスチームシェイプにより概ねシェイピングマンドリルの形状の半周程度、直径が倍程度の形状をつけることができ、特に 3 回転では形状がより強く保持される傾向を示した。シェイピングや形状保持性

に関しては、XT 17 と Headway 17 は Echelon 10 および SL 10 と同等の整形性を持ち、SL 10 よりも高い形状保持性を持つことが示された。また強い回転形状に整形してもマイクロガイドワイヤーの通過性は低下しないことがわかった。

実際の治療において、カテーテルは動脈瘤近傍まで到達するものの、瘤内への留置が困難という状況に遭遇することがあるが、そのような状況ではカテーテルシェイピングが特に重要である^{4,5)}。我々は特に内側下方向きの**傍前床突起部動脈瘤**のような血管の湾曲部から動脈瘤までの距離が短く、従来の J 型や C 型のカテーテル形状では動脈瘤内に安定して留置できないような場合に、Headway17 や XT 17 のような形状保持力の高いカテーテルを選択し、カテーテルにらせん状の強い回転形状をつけて使用している。今回の結果で示されたように、**braided type** のカテーテルでは、目的とする回転直径の半分の大きさで、かつ回転角度の倍程度の角度を目安にシェイピングすることで（8mm 径 1 回転の形状をつけた場合は、直径 4mm で 1.5～2 回転させた状態でスチームシェイプを行う）、目的とする形状にシェイピングすることが可能である。

現在まで様々なカテーテルの形状が報告されているが、**braided type** の場合はカテーテル先端を強く屈曲させて整形すると、時間経過とともにカテーテル先端の形状が戻ってしまうため、いったん瘤外へ逸脱してしまうと再留置が困難となることがある。またカテーテルが不安定な状態に対してバルーンアシストを併用しカテーテルを固定する方法は確立した有用な手

技であるが、バルーンの長時間の拡張は虚血性合併症の危険性を高めると言われている⁶⁾。形状保持力の高いカテーテルを使用することで、カテーテルのみで瘤内に安定して留置可能であれば、バルーンアシストも最小限に抑えることができる。

しかしながら Headway 17 や XT 17 といった形状保持力の高いマイクロカテーテルは柔軟性に劣るという問題もあるため、動脈瘤によっては SL 10 のような形状保持能力には劣るが、柔軟性をもつカテーテルが有効な場合もあると考えている。

マイクロカテーテルの性能を評価する際には、ガイドワイヤーへの追従性や、安定性、柔軟性、抗キンク性、視認性など多くの要素を考慮する必要がある、それぞれのバランスによってカテーテルの特性があらわれる。本研究では特にマイクロカテーテルの整形性に焦点をおいて評価を行ったが、本研究の問題点として、今回示された各マイクロカテーテルの整形性は単回の実験で示された結果であり、複数回の実験による統計学的な解析を行っていないことが挙げられる。その点に関しては今後の検証が必要である。また今回の実験では10分間の短い観察時間でも各カテーテルの形状保持力に差が認められ、特にカテーテル先端を3周させて整形した場合に、各カテーテルの形状変化の差が大きくなった。そのため実際の治療においては時間経過だけでなく、初期のシェイピング形状によっても、形状変化の差がさらに大きくなる可能性があると考えられた。

各種のマイクロカテーテルの特性を理解することで動脈瘤治療がより安全に効果的に行えるようになると考えられた。

結語

4種類のマイクロカテーテルのシェイピング性能を比較検討し、Headway 17とExcelsior XT 17はExcelsior SL 10とEchelon 10よりも高い形状保持力を持ち、整形性は維持されていることが示された。マイクロカテーテルの形状のつけやすさ、形状保持性は、各カテーテルで異なるため、その特性を理解し利用することで、より安全で効果的な治療が期待される。

利益相反開示

筆頭著者および共著者全員が利益相反はない。

文献

- 1) Kiyosue H, Hori Y, Okahara M, et al: Shapability, Memory, and Luminal Changes in Microcatheters after Steam Shaping: A Comparison of 11 Different Microcatheters. *AJNR Am j Neuroraiol* 2005; 26:2610-2616
- 2) Kwon KM, Han HM: Marker Alignment for Guglielmi Detachable Coil Embolization: Practical Considerations. *AJNR Am j Neuroraiol* 2002; 23:1276-1283
- 3) Abe T, Hirohata M, Tanaka N, et al: Distal-Tip Shape-Consistency Testing of Steam-Shaped Microcatheters Suitable for Cerebral Aneurysm Coil Placement. *AJNR Am j Neuroraiol* 2004; 25:1058-1061
- 4) Lee HY, Ahn SJ, Suh CD, et al: Z-Shaped Microcatheter Shaping for Embolization of Aneurysms at the Proximal A1 Segment of the Anterior Cerebral Artery: A technical Note. *Neurointervention* 2011; 6:95-99
- 5) Kwon JB, Im HS, Park CH, et al: Shaping and Navigating Methods of Microcatheters for Endvascular Treatment of Paraclinoid Aneurysms. *Neurosurgery* 2010; 67:34-40
- 6) Spiotta MA, Bhalla T, Hussain SM, et al: An Analysis of Inflation Times During Balloon-Assisted Aneurysm Coil Embolization and Ischemic Complications. *Stroke* 2011; 42:1051-1055

図表の説明

Figure 1

Shape of the microcatheter tip before steam shaping.

A: Round shaping of the microcatheter 4 mm in diameter

B: Microcatheter tip shaped into two rounds

C: Microcatheter tip shaped into three rounds

D: Rotation diameter of the catheter tip (double-headed arrow)

E: Rotation angle of the catheter tip (arrow)

Figure 2

Change in the microcatheter tips shaped into a round (A), two rounds (B), three rounds shape (C).

Upper figures: Immediately after steaming

Lower figures: Steamed microcatheters are soaked in temperature controlled bath maintained at 37°C for 10 minutes.

Figure 3

Comparison of the rotation diameter of the round shaped microcatheters between immediately after and 10 minutes after steam shaping. Solid line indicates initial rotation diameter before steam shaping.

Figure 4

Comparison of the rotation angles of the round shaped

microcatheter tips between immediately after and 10 minutes after steam shaping. All microcatheters show approximately the same shapability. In three rounds shaped microcatheter, Headway and XT-17 show higher durability than Echelon and SL-10.

Table 1

Characteristics of the microcatheters

Figure 1

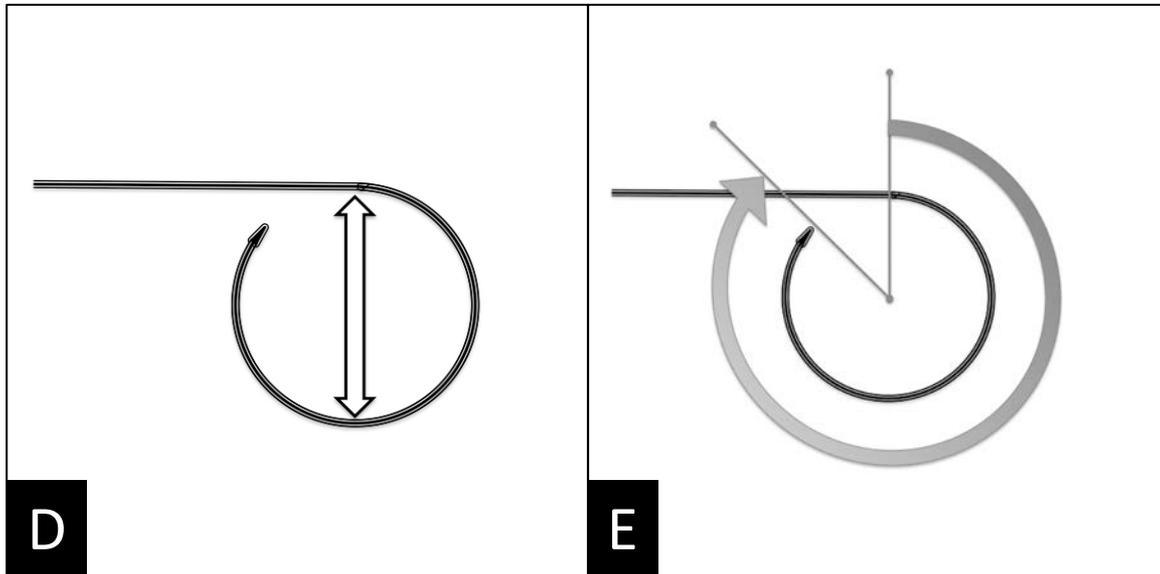
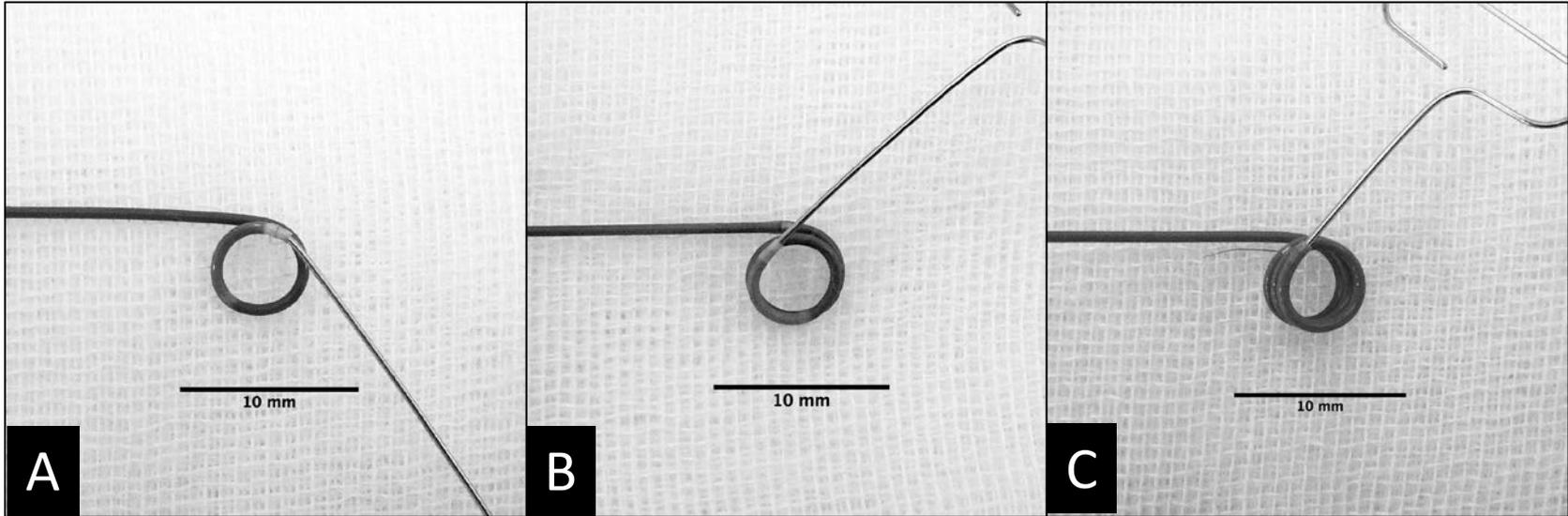


Figure 2

SL-
10

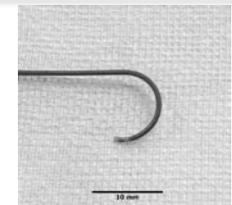
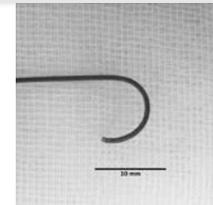
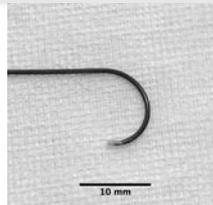
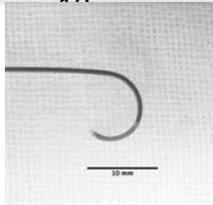
Echelon-10

Headway 17

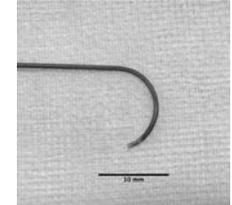
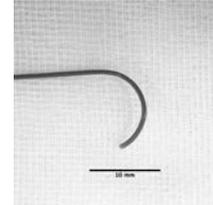
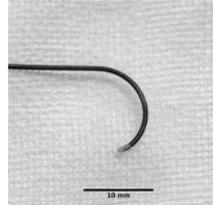
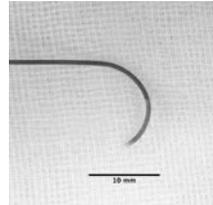
XT-17

--- 1 round shape ---

Immediately
after steaming

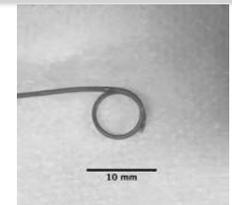
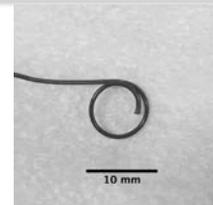
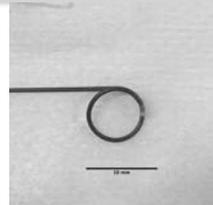
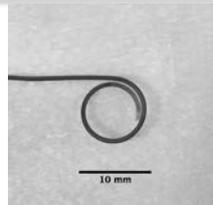


10 minutes after
steaming

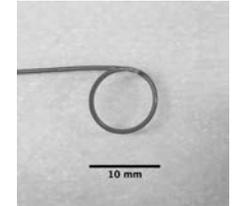
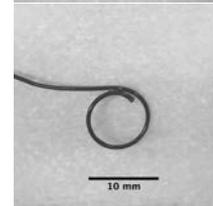
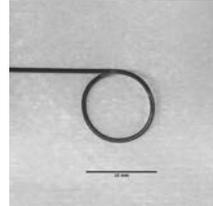
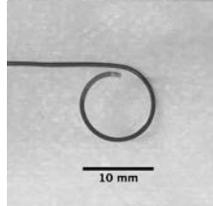


--- 2 rounds shape ---

Immediately
after steaming

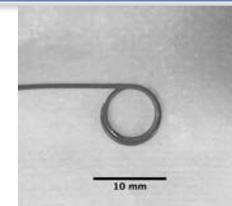
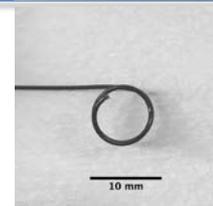
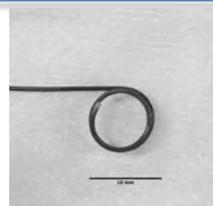
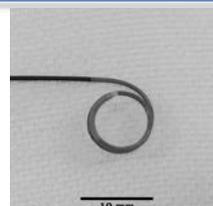


10 minutes after
steaming

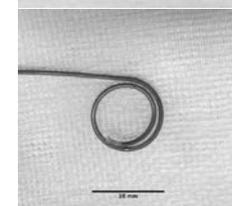
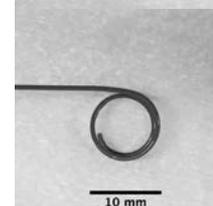
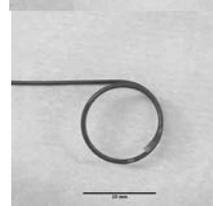
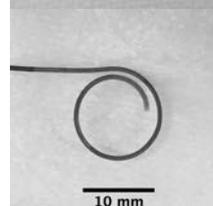


--- 3 rounds shape ---

Immediately
after steaming



10 minutes after
steaming



A

B

C

Figure 3

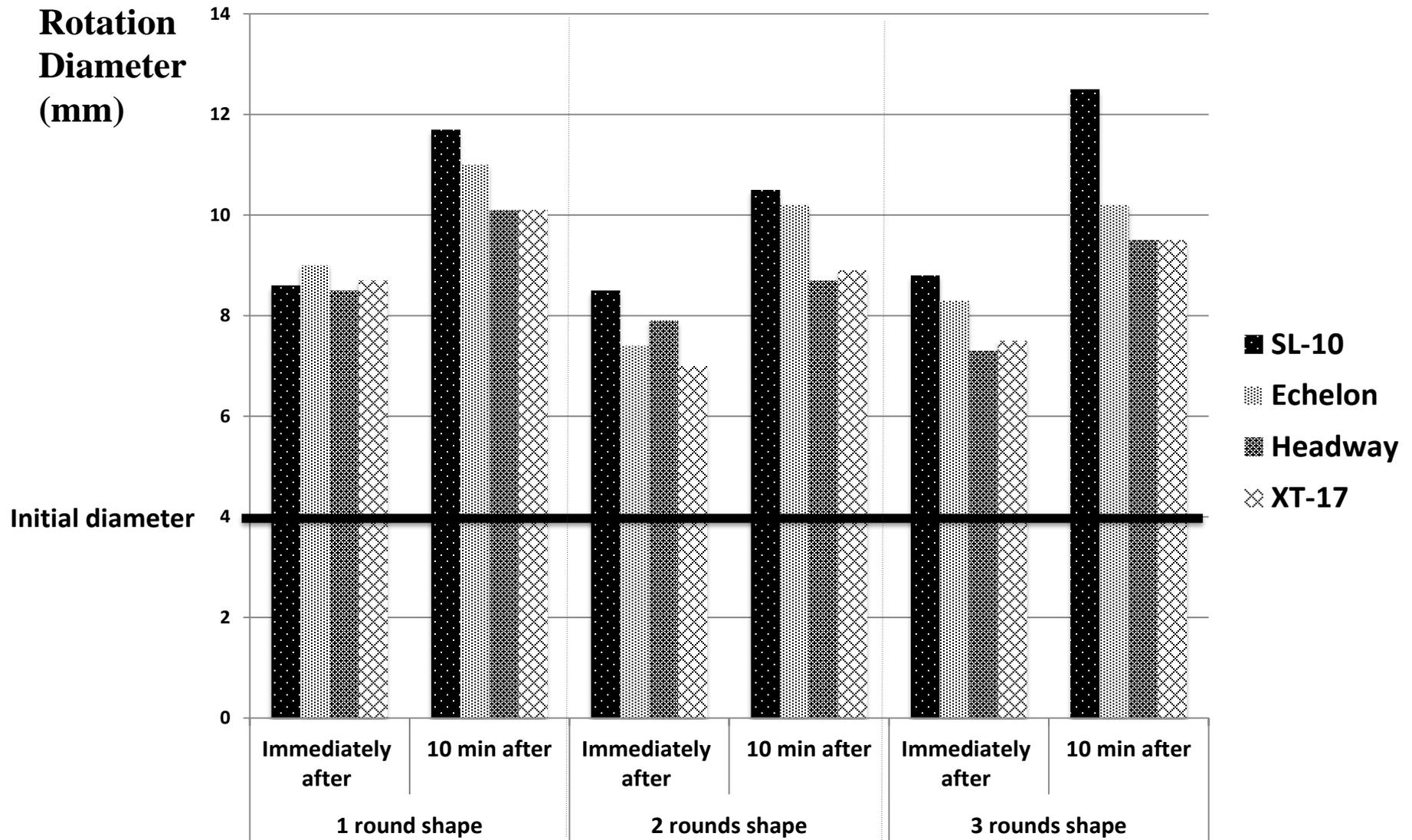


Figure 4

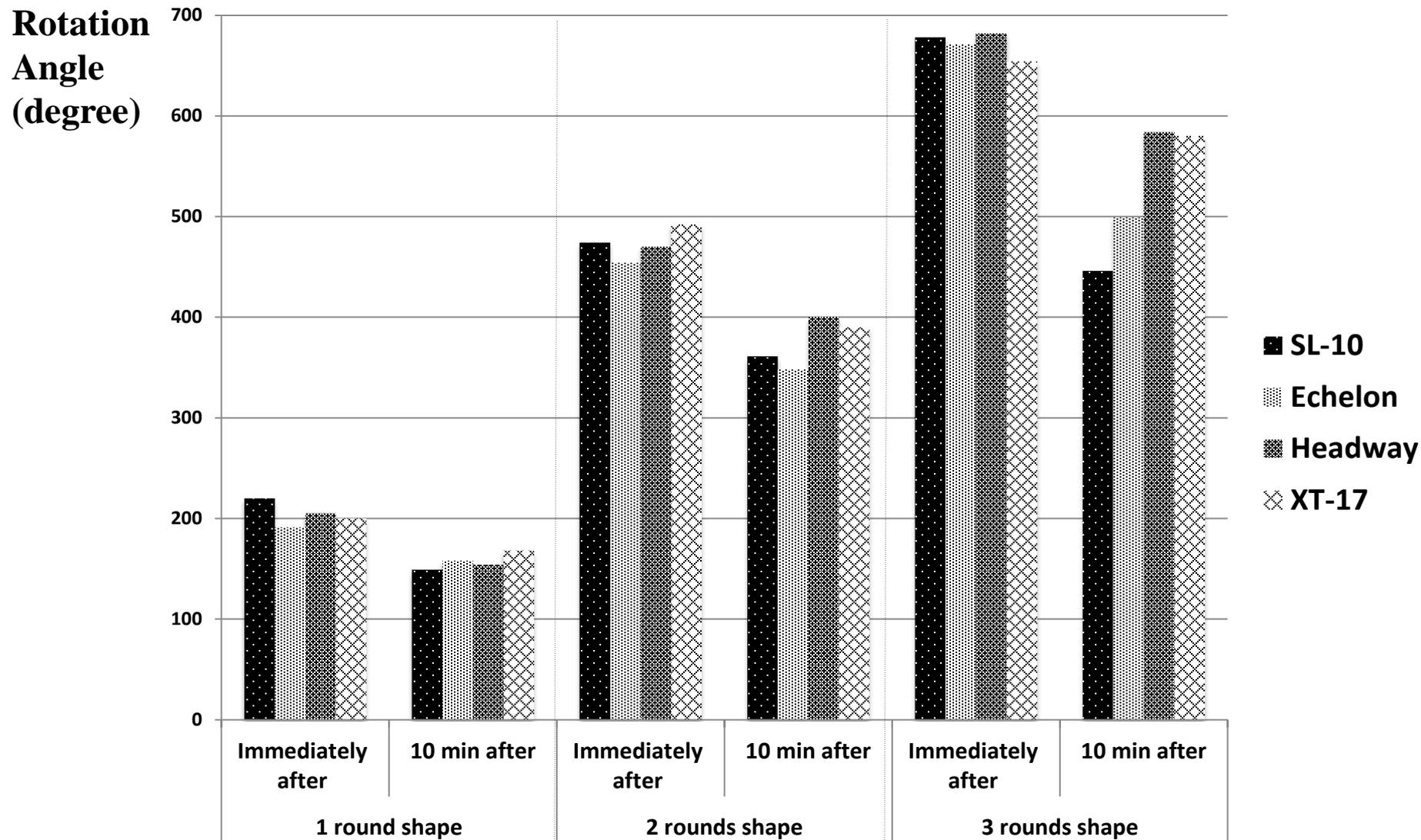


Table 1

Catheter	Excelsior SL 10	Echelon 10	Headway 17	Excelsior XT 17
Distal OD (French)	1.7	1.7	1.7	1.7
Distal ID (inch)	0.0165	0.017	0.017	0.017
Material of inner shaft	PTFE Liner	PTFE Liner	PTFE Liner	PTFE Liner
Reinforcement	Stainless steel Coil structure (distal shaft)	Nitinol Braid structure	Stainless steel Coil structure	Stainless steel Braid structure