

論文の内容の要旨

論文提出者氏名	堤 圭 治
論文審査担当者	主 査 多田 剛 副 査 加藤博之・栗田 浩
論文題目	Mechanical evaluation of cerebral aneurysm clip scissoring phenomenon: comparison of titanium alloy and cobalt alloy (脳動脈瘤クリップにおけるシザリング現象の検討：チタン合金とコバルト基合金製クリップの比較)
(論文の内容の要旨)	<p>【背景と目的】脳動脈瘤治療において、クリッピング術は血管内治療が進歩した現在でも重要な治療選択肢である。クリッピングの際に、クリップブレードが捻れて変位してしまう現象はシザリングとして知られており、脳動脈瘤頸部損傷の危険性がある。しかし、シザリング現象についての基礎研究は少ない。現在、クリップの材料としてチタン合金が主流であるが、シザリングの報告が散見される。以前のコバルト基合金製では、シザリング現象はまれであったので、近年再び注目されている。チタンは非磁性体で非毒性の特徴を持ち、また高い比強度、耐食性、生体適合性を有しているが、金属剛性の問題があげられる。</p> <p>本研究では、シザリング現象を解明するためにクリップの閉鎖力と疑似シザリング現象時のトルク値を測定し、コバルト基合金製とチタン合金製の脳動脈瘤クリップを比較することで、チタン合金製クリップの特性を明らかにすることを目的とした。</p> <p>【方法】クリップの閉鎖力は閉鎖力測定装置を用い、クリップのブレード先端からの距離とブレードの開き幅を変化させて計測した。具体的には、2つのブレードの開き幅 (1, 3 mm) に対し、各々ブレード先端からの距離を 3 mm 毎 (3, 6, 9 mm) に変化させて測定した。</p> <p>シザリング現象を疑似的に再現し、クリップ回転時のトルク値をアンチシザリングトルクとして評価した。評価方法として独自のトルク測定装置を使用して測定した。具体的には、クリップブレードでシリコンシートを挟み、クリップヘッドをシザリングが生じる角度まで回転させた。クリップヘッドの回転角度毎にブレードに生じるトルク値を測定した。ブレード先端からの位置とブレードの開き幅は、閉鎖力測定に用いた条件と同様とした。</p> <p>本研究にはブレード長が 18 mm のストレートクリップを使用し、同一タイプのチタン合金製とコバルト基合金製のクリップによる比較検討を行った。</p> <p>【結果】クリップ閉鎖力は、素材に関係なく、ブレード先端に近いほど低く、先端からの距離が長くなるほど高くなり、その増加は直線的であった。また、ブレードの開き幅が 3 mm の方が 1 mm よりも有意に閉鎖力が高かった ($p < 0.05$)。アンチシザリングトルクは、両素材とも回転角度に応じて上昇し、ブレード先端からの距離が長いほど有意に高かった ($p < 0.05$)。さらに、両素材ともブレードの開き幅が 3 mm の方が 1 mm よりも有意にトルク値が高かった ($p < 0.05$)。いずれの条件でもコバルト基合金製の方がチタン合金製クリップよりトルク値は高かったが、両者とも回転角度 90 度近傍までは、ほぼ直線的にトルク値の上昇がみられた。しかし、チタン合金製クリップにおいて、ブレードの開き幅が 3 mm、先端からの距離が 3 mm の条件では、回転角度 70 度前後でトルク値の急激な低下が認められた。</p> <p>素材間の比較では、閉鎖力はチタン合金製がコバルト基合金製クリップより高かった。一方、アンチシザリングトルクは、コバルト基合金製クリップが有意に高かった ($p < 0.05$)。</p> <p>【考察】脳動脈瘤クリッピング術においては、動脈瘤の壁の厚さ、動脈硬化性変化の有無、サイズなど動脈瘤側の要素も重要である。本研究ではブレードの開き幅を変化させることで動脈瘤側の要素を加味し、閉鎖力とアンチシザリングトルクに与える影響を検討した。</p> <p>脳動脈瘤クリップに使用されているチタン合金は、6%のアルミニウムと4%のバナジウムを含む組成で、軽量で高い比強度を有する。しかし、コバルト基合金との比較では、延性はおよそ半分であり、剛性や強度においても劣っている。</p> <p>クリップの閉鎖力は主にクリップのバネ部により規定される。本研究では、剛性や強度に劣るチタン合金製の閉鎖力の方が高かった。これは、同一タイプのクリップであるが、バネ部やブレードの形状に両者で差異があることに起因すると考えられた。</p> <p>本研究では、延性、剛性、強度に勝るコバルト基合金製クリップの方がシザリングを生じにくいことが示されたが、通常のクリッピングにおいては、チタン合金製クリップも機能的には同等であり、さらに MRI 検査における安全性、アーチファクトの点からもチタン合金製クリップが用いられている。</p> <p>【結論】本研究の結果、脳動脈瘤クリップのシザリング現象は、クリップブレードの先端部のみを使用したクリッピングで生じやすいことが明らかになった。アテローム硬化性変化の強い動脈瘤や大型の動脈瘤に対してチタン合金製クリップでクリッピングを施行する際は、ブレードの開き幅が大きくなることから、ブレードのより深い位置でクリッピングすることが必要である。さらに、パラレルクリッピングやブースタークリッピングといったクリッピングの方法を工夫したり、コバルト基合金製クリップの使用を考慮する必要がある。</p>