

主論文の要旨

**Postendovascular Aneurysmal Repair Increase in  
Local Energy Loss for Fusiform Abdominal Aortic  
Aneurysm: Assessments With 4D flow MRI**

〔紡錘状腹部大動脈瘤におけるステントグラフト内挿術(EVAR)後の  
局所エネルギー損失：4D-Flow MRIによる評価〕

名古屋大学大学院医学系研究科 総合医学専攻  
高次医用科学講座 量子医学分野

(指導：長縄 慎二 教授)

堀口 瞭太

## 【緒言】

腹部大動脈瘤 (abdominal aortic aneurysm; AAA) の治療において、ステントグラフト (stent-graft; SG) 内挿術 (endovascular aneurysmal repair; EVAR) は開腹手術と比較して低侵襲である点が好まれ、近年選択される割合が高まりつつある。周術期死亡率など短期的な予後に優れる一方で、長期的な影響については未解明な部分が多く、SG 挿入によって心負荷が増大するとの報告もあるがあまり知られていない。

4D-Flow MRI は 1 心拍を多時相 (本研究では 23 時相) に分割して 3 次元的速度ベクトルの経時的变化を観察可能な技術である。一度データを取得しておく、患者が検査室を離れた後も任意の観察方向、箇所、時相について検討する事が可能である。また速度ベクトルを元に計算、加工する事で血流のもつ運動エネルギー損失 (energy loss; EL) を求める方法が板谷らによって報告されている。

本研究では 4D-Flow MRI を用いて EVAR 術前後の大動脈瘤/SG 部の EL を測定する事で、EVAR による血行動態への影響を調査する。

## 【方法】

紡錘状腹部大動脈瘤に対する初回治療として EVAR を行う患者のうち、MRI でのアーチファクトが少ないナイチノール製 SG である Endurant II もしくは Excluder を使用する症例 13 名に対して、術前後で 4D-Flow MRI を撮影した。Fig. 1 に示す様に、撮影範囲のうち腹腔動脈上端レベルから下位腎動脈下端レベルの腹部大動脈を neck、腎動脈下腹部大動脈から両側総腸骨動脈末端 (内/外腸骨動脈分岐部) までの範囲を術前は an、術後は sg と定義し、それぞれの EL (anEL、sgEL、術前後の neckEL、およびそれらの合計の total EL) を測定した。Fig. 2 に示す様に血管上に断面を設定、特に瘤の最大拡張レベルを Ao3 として定義し、これらの断面を通る血流の平均流速を測定した。なお解析は血流解析ソフト (iTFlow ver. 1.9, CardioFlowDesign 社) を用いて行った。

術前 1 週間以内および術後 1 か月以内に脳性ナトリウム利尿ペプチド (BNP) を測定した。

瘤の形態に関して SG のネック角を Fig. 3 の様に定義、測定した。また、Fig. 4 の様に SG 脚の狭窄率を定義した。脚の狭窄率 70% 超またはネック角 45 度以上を deformed SG 群 (n=5)、それ以外を non-deformed SG 群 (n=8) として患者を 2 群に分割した。

## 【結果】

腹部大動脈 Ao3 レベルでの平均流速 (cm/s) は EVAR 術前 0.91 から術後 4.79 と約 5 倍に上昇した。Total EL (mW) は術前 0.292 から術後 0.487 と約 1.7 倍に上昇した。術前後とも total EL はネック角に相関し、相関係数は術前  $r=0.691$ 、術後  $r=0.718$  であった。

術後では BNP (pg/mL) は total EL に相関 ( $r=0.773$ ) した。

deformed SG 群では total EL は術前 0.349 から術後 0.848 と 2.4 倍に上昇し、BNP も術前 90.3 から術後 100 と上昇した。

## 【考察】

計算流体力学によって大動脈瘤の捻じれ、曲がり、急拡張が流れを阻害する事が示されている。当初我々も EVAR によって流路形態が是正され、EL が低下すると予想していたが、これに反して SG の設置により局所 EL は約 1.7 倍に増加した。EVAR により血液の流路の体積が減少し、特に変化の大きい瘤の最大拡張部では術前と比べた術後の血流速度は約 5 倍となったが、これが EL 増加には大きく寄与したと思われる。

SG の形態的变化との関係では EVAR 後の EL はネック角に相関していたが、ネックに曲がりがあると流路が狭くなり、同部での血流速度上昇を来し、血流の運動エネルギー散逸が促進される。同様に脚の狭窄でも血流速度上昇が起きるため、運動エネルギー散逸が起きる。これらが deformed SG 群での EL は術前と比べ術後 2.4 倍と増加が目立った原因と考える。

体積縮小や流路狭窄などの目に見える変化とは違って影響が分かりにくいのが、流路の硬さの変化も EL 増加に寄与する可能性がある。健康な大動脈には壁の弾性と伸展性があり、収縮期に内腔が拡張して血液貯留、拡張期には収縮して末梢へと放出する機能を持つ。動脈硬化ではこれが徐々に失われるが、SG は動脈硬化血管と比較してもより硬く柔軟性に欠く。イヌに SG 挿入した実験ではコントロール群と比較して心肥大を来したとの報告があり、ヒトにおいても SG 挿入後の急性期および遠隔期の両方で脈波伝達速度と LV-mass-index の上昇が報告されている。

本研究では EVAR により EL が上昇したが、EL と BNP の値には正の相関が見られた。また deformed SG 群については BNP も上昇した。BNP は心疾患の重症度に比例して上昇する事が知られており、術中の SG 変形が生じない様に注意する必要がある。術者の技術的洗練に加え、内腔を維持しつつも柔軟性を保つ SG が将来的には求められるかもしれない。

## 【結語】

total EL は EVAR 後に 1.7 倍に増加し、deformed SG 群では total EL 増加が特に大きかった。EVAR 術後の total EL はネック角や BNP と正の相関を示しており、心機能に対する潜在的なリスクの可能性がある。