

Optimal Balloon Size in Balloon Aortic  
Valvuloplasty: Results from a Retrospective  
Analysis of Multi-slice Computed Tomography

(経カテーテル的大動脈弁バルーン形成術にお  
ける至適バルーン径の検討:Multi-slice Computed  
Tomography を用いた後ろ向き研究)

氏名 西村 傑

所属 山口大学大学院医学系研究科

応用医工学系専攻 器官病態内科学分野

平成 31 年 1 月

## 目次

1. 要旨	1
2. 研究背景	2
3. 目的	2
4. 方法	3
5. 結果	5
6. 考察	11
7. 結語	13
8. 謝辞	13
9. 参考文献	14

## 1. 要旨

経カテーテル的大動脈弁バルーン形成術 (BAV) における最大拡張径は、2D 経胸壁心エコー検査 (TTE) で計測された外科的弁輪径を目標に決定されてきた。CT 上大動脈弁輪は楕円形を呈し、TTE で計測された外科的弁輪径は、CT で円周や面積から算出される弁輪径より理論上過小評価され、良好な acute gain が得られない症例がある。本研究では順行性 BAV において、MSCT から算出した弁輪径が安全かつ、より至適なバルーン径の選択の指標となり得るか後ろ向きに検討した。

対象は当院で BAV 施行前に MSCT を施行し、解析可能であった 22 名とした。

CT で測定した大動脈弁輪径 (area-derived aortic annulus diameter (AREAd) , aortic annulus minimum diameter (MINd))、及び 2D TTE で計測した外科的弁輪径(TTEd)に対する最大バルーン径 (B) の比を以下の至適サイズの指標と定義した。

1)  $B/AREAd = \text{Maximum balloon size} / (\text{CT Area-derived aortic annulus diameter})$

2)  $B/MINd = \text{Maximum balloon size} / (\text{CT aortic annulus minimum diameter})$

3)  $B/TTEd = \text{Maximum balloon size} / (\text{TTE annulus diameter})$

本研究では治療効果判定として用いられる指標として、Doppler velocity index(DVI)を用いた。術後 DVI/術前 DVI を算出し、この改善比の中央値である 1.3 を用いて、改善群、非改善群の二群に分類して検討を行った。

三手法の各々において、サイズ選択の指標を改善群、非改善群間で比較したところ、統計学的に有意な指標はなかったものの、B/AREAd が最も改善を予測する指標になり得た ( $p=0.16$ )。

DVI の改善比を指標とした至適バルーン径のカットオフ値は  $B/AREAd > 0.936$  と計測され、 $AREAd \times 0.936$  が至適サイズとなり得る可能性が示唆された。

術後の DVI の比較では  $B/AREAd > 0.936$  達成群の方が、非達成群と比し、DVI が改善する傾向がみられた ( $p=0.06$ )。  $B/AREAd > 0.936$  達成群、非達成群における改善群、非改善群の割合の比較では、達成群において有意に改善群が多かった。至適サイズを用いて DVI 改善が得られた群では明らかな AR の増悪は認められず、MSCT から算出した弁輪径が安全かつ、より至適なバルーン径の選択の指標 ( $B/AREAd > 0.936$ ) となる可能性が示唆された。

## 2. 研究背景

経カテーテル的大動脈弁バルーン形成術 (Balloon aortic valvuloplasty ; 以後 BAV と表記) は、外科的手術のリスクが高い重症大動脈弁狭窄症 (aortic stenosis ; 以後 AS と表記) 患者に対する姑息的な手段として行われ[1]、大動脈弁置換術へのブリッジの役割としての治療と認識されてきた[1,2]。TAVI 時代においては、BAV は経カテーテル大動脈弁留置術 (transcatheter aortic valve implantation ; 以後 TAVI と表記) へのブリッジ治療であるとともに、有意な圧較差改善により、AS の症候に対する関与を評価する診断的治療として施行されてきた。一般的に外科的弁輪径は 2D 経胸壁心エコー検査

(transthoracic echocardiography ; 以後 TTE と表記) で計測されているが、BAV におけるバルーンの最大拡張径は、TTE で計測された外科的弁輪径を目標に決定されている [2,3]。さらなる良好な acute gain を得るためには、2D TTE で計測された外科的弁輪径よりも大きなバルーンサイズで拡張する必要があるが、急性大動脈弁逆流症 (aortic regurgitation ; 以後 AR と表記) や弁輪破裂などの合併症のリスクが高くなる。当院では、AR の増悪の有無を確認しながら、段階的に拡張径を増大し、2D TTE の外科的弁輪径まで拡張を行ってきたが、弁口面積 (aortic valve area ; 以後 AVA と表記) の十分な改善が得られない症例が存在する。昨今の TAVI 時代において、Multi-slice Computed Tomography (以後 MSCT と表記) で測定された AVA が、デバイスのサイジングに使用されるようになった。2D TTE で測定された外科的弁輪径は、CT で円周や面積から算出される弁輪径よりも理論上過小評価されると報告されているが [4]、これまで CT で測定された外科的弁輪径を指標にした BAV の有効性や安全性については、解明されていない。

## 3. 目的

今回我々は、MSCT から算出した area-derived aortic annulus diameter (以後 AREAd と表記) を指標に BAV のバルーンサイズを決定することで、安全かつ、より良好な拡張が得られるのではないかと仮説を立て、それを実証するために MSCT で AREAd を測定し、2D TTE から算出される外科的弁輪径に比較して、より至適なバルーン径の選択の指標となり得るか後ろ向きに検討した。

## 4. 方法

### 対象

2012年12月から2017年3月までに当院で有症候性の重症AS患者に対してBAVを施行した連続75名を対象とした。75名のうち、術前にMSCTを施行し、AREAdが測定可能であった症例を後述する解析対象とした。

### BAV procedure

BAVにおいて、デバイスは下肢大腿静脈からアプローチし、Proglideを使用して予めpre-closeした状態で25 cm 14Fr シースを挿入する。8Fr 135° シース(Mullins introducer set)を経心房中隔経由で左房へ挿入する。動脈アクセスは、2箇所総大腿動脈あるいは上肢動脈から獲得し、25 cm 4Fr シースを挿入し、一方から10 mm gooseneck catheterを挿入し、他方から大動脈弁上にpigtail catheterを留置する。6Fr Swan-Ganz catheterを使用して熱希釈法で心拍出量を測定する。先程の8Fr 135° シース(Mullins introducer set)から6Fr wedge-balloon catheterを左房へ挿入し、僧帽弁を越えて左室内へ挿入する。この時点で大動脈弁口面積及び平均圧較差をGorlinの式を用いて測定する。0.032 spring-tip guidewireをシェイプして、スタイレットの代わりとして使用し、6Fr wedge-balloon catheterを左室心尖部から左室流出路へ導き、血流に従って、大動脈弁を通過させた後、順行性に下行大動脈まで進める。0.032 extra-stiff wireを6Fr wedge-balloon catheterの内腔に挿入し、ワイヤーの遠位部は経動脈的に留置していたgooseneck catheterにより下行大動脈で捕捉固定する。wedge-balloon catheter及び8Fr 135° シース(Mullins introducer set)は抜去し、extra-stiff wireは心腔内でワイヤーループの状態を保持するようにする。イノウエバルーンを右大腿静脈からワイヤーループに沿わせて、大動脈弁位まで進める。拡張形成術は、通常2D TTEで測定した外科的弁輪径よりも5mmステップダウンしたバルーンサイズで開始し、各径で複数回(通常5回前後)のバルーン拡張を行う。段階的に拡張径を増やしながら、その都度急性ARの増悪についてTTEで評価を行う。ARが有意に増悪した場合は、それ以上の拡張は施行せず、終了とした。最後にBAVの効果を評価するために、血行動態(大動脈弁口面積、平均圧較差)を再評価し、ベースラインを比較した[5,6]。

### 経胸壁心エコー検査

すべての患者において、ASE及びESEのガイドラインに従って、BAV術前と術後(退院時)に経胸壁心エコー検査を施行した。ASの重症度を評価するために、連続波ドプラによる最高血流速度、収縮期平均圧較差、Effective orifice area(以後EOAと表記)及びDoppler velocity index(以後DVIと表記)を測定した。DVIは大動脈

弁位の血流速度に対する左室流出路の血流速度の比で計測され、0.25未満の場合重症ASと定義される[7]。BAVの効果を評価するために、各パラメーターの術前値に対する術後値の比を「acute gain ratio」とし、算出した。心エコーの外科的弁輪径は、術前の2D TTEの際に傍胸骨左縁長軸像で計測した[8]。至適サイズの指標として、TTEで算出された外科的弁輪径（以後TTEdと表記）に対する最大バルーン径(以後Bと表記)の比を“B/TTEd”と定義した。さらにBAV前後でのARの重症度の変化を評価するために、ARの左室内への逆流jetの分布（I, II, III及びIV）をBAV前後でそれぞれ評価し、術前後で比較した[9]。

## MSCT

CTにおいては、AREAd、aortic annulus minimum diameter（以後MINd）及びaortic annulus maximum diameterを3 Mensio Structural Heartを用いて測定した[10,11]。MSCT画像をソフト上で3次元構築し、三尖の底面を結んだ面をannular planeと定義したうえで、収縮中期でAREAd、MINd及びaortic annulus maximum diameterを測定した。至適サイズの指標として、AREAdに対する最大バルーン径(B)の比を“B/AREAd”と定義し、さらMINdに対する最大バルーン径(B)の比を“B/AREAd”と定義した。

## 統計解析

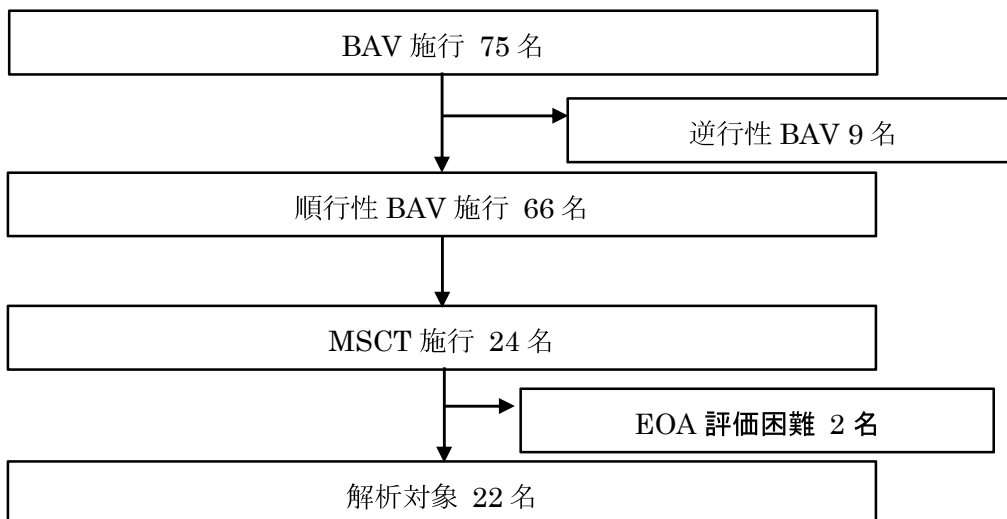
すべてのデータはJMPを用いて解析した。連続変数は、平均±標準偏差あるいは中央値・四分位範囲で記載した。連続変数は、Studentのt検定で解析し、対応のある場合は対応のあるt検定で解析した。カテゴリー変数は数とパーセントで表記し、 $\chi^2$ 二乗検定で解析した。さらに、術後DVI/術前DVIを算出し、この改善比の中央値である1.3を予測するB/AREAdのカットオフ値を特定するためにROC解析を行った（詳細は結果にて後述する）。すべての検定は、両側検定の $p<0.05$ を統計学的有意とした。

## 5. 結果

### 患者背景

当院で BAV を施行した連続 75 名のうち、経心房中隔アプローチである順行性 BAV を施行したのが 66 名で、逆行性アプローチで BAV を施行したのは 9 名であった。順行性アプローチで BAV を施行した 66 名のうち、術前に大動脈弁起始部の解剖を評価するために MSCT を施行したのが 24 名であった。この 24 名のうち、TTE で EOA の測定が困難であったが 2 名を除いた 22 名を本検討の解析対象とした(図 1)。患者背景は表 1 に要約した。

図 1 患者選択



BAV: 大動脈弁バルーン形成術、MSCT: Multi-slice computed tomography、EOA: effective orifice area

表 1 患者背景

Variable	Mean ± SD or Number (%)
Number of patients	22
Age, years	85 ± 5
Male sex	7 (32)
Body surface area, m <sup>2</sup>	1.42 ± 0.17
Hypertension	18 (82)

Diabetes mellitus	7 (32)
Dyslipidemia	8 (36)
Chronic kidney disease	8 (36)
NYHA grade	
I	4 (18)
II	14 (64)
III	1 (5)
IV	3 (14)
EuroSCORE II	4.9 (4.0 - 5.4)
STS PROM	7.0 ± 2.9
Left ventricular diastolic dimension, mm	45.9 ± 5.9
Left ventricular ejection fraction, %	59.2 ± 13.3
Peak transaortic valve velocity, m/s	5.0 ± 0.8
Transaortic mean pressure gradient, mmHg	54.0 (46.8 - 73.5)
Effective orifice area, cm <sup>2</sup>	0.55 ± 0.11
Doppler velocity index	0.20 ± 0.06
Aortic annulus diameter, mm	20.5 ± 1.5
Pre-procedural AR	
None	1 (5)
I	13 (59)
II	8 (36)
III	0 (0)
IV	0 (0)

NYHA: New York Heart Association、AR: aortic regurgitation

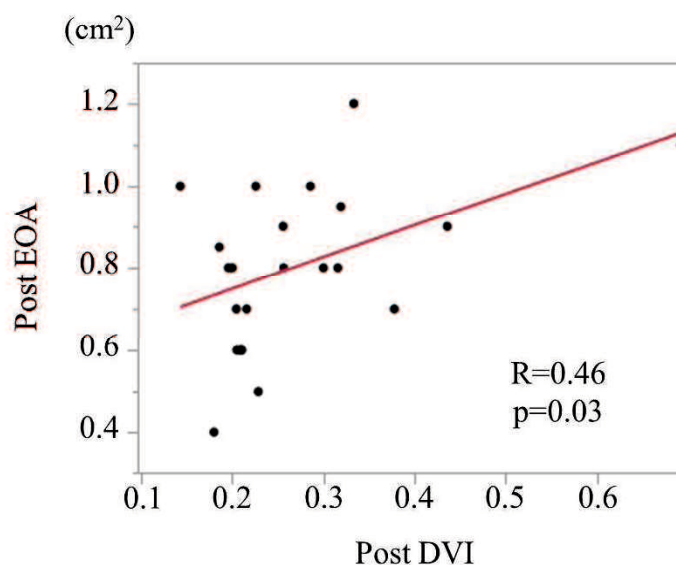
#### 術後評価

BAV 施行後、術後の EOA 及び DVI は、術前に比し、有意に改善が見られた[EOA (cm<sup>2</sup>) 0.55 ± 0.11 vs. 0.80 ± 0.20, p<0.001; DVI 0.20 ± 0.06 vs. 0.27 ± 0.12, p<0.001; pre- vs. post.]。

図 2 に術後の EOA と DVI の相関関係を示す。治療効果判定として用いられる術後の EOA と DVI の間には弱い相関関係のみ確認された(R=0.46, p=0.03)。EOA は検者間・検者内誤差が理論上大きいとされており、本研究では DVI を治療効果判定の指標とした。



図2 BAV 施行後の EOA と DVI の相関関係



EOA: Effective orifice area、DVI: Doppler velocity index

また、成功指標とされる術後  $DVI > 0.25$  を達成した群では術前の DVI が有意に高値で、患者背景の差があったため、本研究では術後 DVI/術前 DVI を算出し、この改善比の中央値である 1.3 を用いて解析対象を 2 群に分けた。術後 DVI/術前 DVI  $> 1.3$  を達成していれば、改善群と定義し、一方で術後 DVI/術前 DVI  $\leq 1.3$  であれば非改善群と定義した。

表 2 は B/AREAd、B/MINd 及び B/TTEd の 3 手法による至適バルーンサイズ選択の指標を用いた改善群と非改善群の比較を示す。B/MINd、B/TTEd においては、改善群と非改善群の間に統計学的な有意差はなく、統計学的に有意な指標ではなかったものの、B/AREAd においては、改善群の方が非改善群に比し、大きい傾向があり ( $0.92 \pm 0.04$  vs  $0.89 \pm 0.05$ ,  $p=0.16$ )、B/AREAd が最も適切に改善を予測する指標となる可能性が得られた。DVI の改善比の中央値である 1.3 を予測するために ROC 解析を行ったところ、至適バルーン径のカットオフ値は  $B/AREAd > 0.936$  と計測され (AUC 0.684、 $p=0.20$ 、感度 0.54、特異度 0.89、図 3)、 $B/AREAd \times 0.936$  が至適サイズとなり得る可能性が示唆された。表 3 には B/AREAd 0.936 を基準に解析対象を二群分けし、患者背景を示す。

表 2 B/AREAd、B/MINd 及び B/TTEd における改善群と非改善群の比較

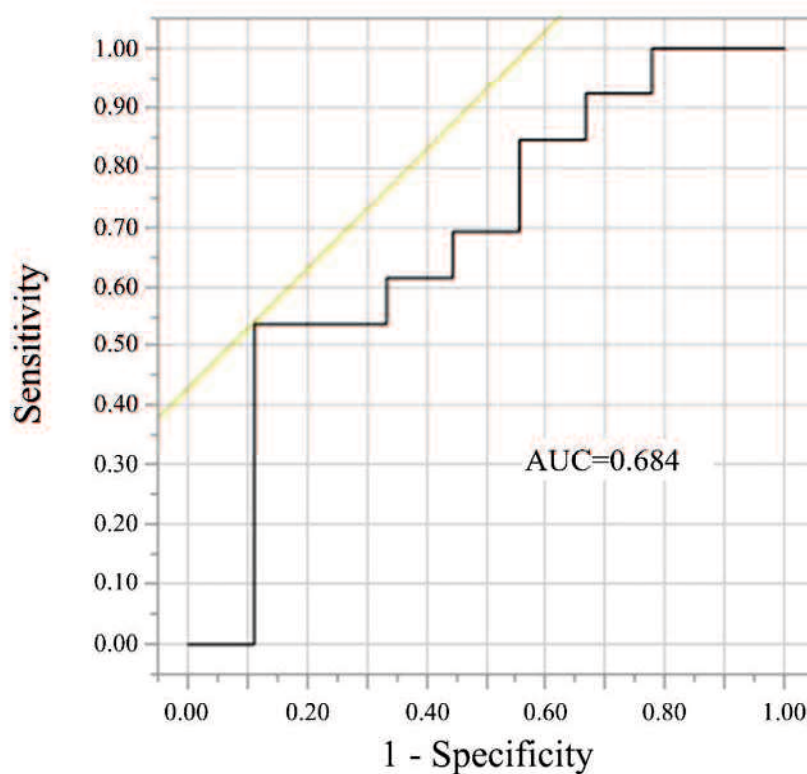
	改善群	非改善群	p-value
B/AREAd	0.92 ± 0.04	0.89 ± 0.05	0.1608
B/MINd	1.06 ± 0.10	1.04 ± 0.07	0.6201
B/TTEd	1.01 ± 0.06	1.02 ± 0.08	0.7322

B/AREAd =(Maximum balloon size)/ (CT Area-derived aortic annulus diameter)

B/MINd =(Maximum balloon size)/ (CT aortic annulus minimum diameter)

B/TTEd =(Maximum balloon size)/ (TTE annulus diameter)

図 3 B/AREAd における改善指標(術後 DVI/術前 DVI>1.3)を予測する ROC 解析



AUC 0.684、p=0.20、感度 0.54、特異度 0.89

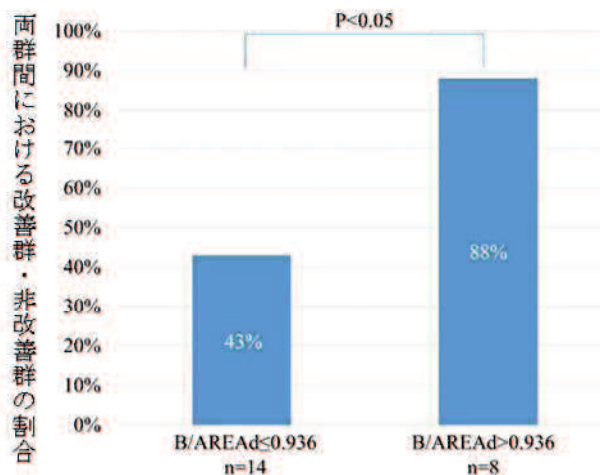
表 3 B/AREAd>0.936、B/AREAd≤0.936 の患者背景の比較

Variable	B/AREAd>0.936	B/AREAd≤0.936	p-value
Number of patients	8	14	
Age, years	83 ± 2	85 ± 1	0.37
Male sex, n (%)	6 (75)	9 (64)	0.60
Body surface area, m <sup>2</sup>	1.40 ± 0.06	1.44 ± 0.05	0.62
Hypertension, n (%)	7 (88)	11 (79)	0.60
Diabetes mellitus, n (%)	3 (38)	4 (29)	0.67
Dyslipidemia, n (%)	5 (63)	3 (21)	0.05
Chronic kidney disease, n (%)	4 (50)	4 (29)	0.31
NYHA grade, n (%)			0.82
I	2 (25)	2 (14)	
II	5 (63)	9 (64)	
III	0 (0)	1 (7)	
IV	1 (13)	2 (14)	
EuroSCORE II	5.0 (3.5 - 6.5)	4.8 (4.1 - 5.4)	0.97
STS PROM	8.2 ± 1.0	6.3 ± 0.7	0.15
LVDd, mm	45.8 ± 2.1	46.0 ± 1.6	0.93
LVEF, %	61.3 ± 4.8	58.0 ± 3.6	0.58
Peak transaortic valve velocity, m/s	5.2 (4.3 - 5.5)	4.7 (4.5 - 5.4)	0.71
Transaortic mean PG, mmHg	53.5 (44.5 - 74.5)	54.0 (46.8 - 73.5)	1.00
Effective orifice area, cm <sup>2</sup>	0.53 ± 0.04	0.55 ± 0.03	0.66
Doppler velocity index	0.22 ± 0.02	0.18 ± 0.02	0.16
Aortic annulus diameter, mm	21.1 ± 0.5	20.1 ± 0.4	0.14
Pre-procedural AR, n (%)			0.74
None	0 (0)	1 (7)	
I	5 (63)	8 (57)	
II	3 (38)	5 (36)	
III	0 (0)	0 (0)	
IV	0 (0)	0 (0)	

NYHA: New York Heart Association、AR: aortic regurgitation

このカットオフ値を基準とすると、至適バルーンサイズ非達成群( $B/AREAd \leq 0.936$ )の14名のうち、6名(43%)が改善群に含まれていたが、この6名のうちBAV術後にARが増悪した症例は2名(33%)であった。一方で、至適バルーンサイズ達成群( $B/AREAd > 0.936$ )の8名のうち、7名(88%)が改善群に含まれていたが、この7名のうちBAV術後にARが増悪した症例は2名(28%)であった(図4)。至適バルーンサイズ達成群( $B/AREAd > 0.936$ )と非達成群( $B/AREAd \leq 0.936$ )の間で、ARが増悪した割合に統計学的な有意差は認められなかった( $p=0.85$ )。至適バルーンサイズ達成群・非達成群の症例における術後のDVIを比較したところ、統計学的に有意差がみられなかったものの、至適バルーンサイズ達成群( $B/AREAd > 0.936$ )の方が、非達成群( $B/AREAd \leq 0.936$ )に比して、術後のDVIが改善する傾向がみられた( $0.33 \pm 0.17$  vs.  $0.24 \pm 0.06$ ,  $p=0.06$ )。改善群の頻度を比較したところ、至適バルーンサイズ達成群( $B/AREAd > 0.936$ )の方が、非達成群( $B/AREAd \leq 0.936$ )に比して、有意に改善群の頻度が多かった(88% vs 43%,  $p=0.04$ )。

図4 至適バルーン径達成群( $B/AREAd > 0.936$ )と非達成群( $B/AREAd \leq 0.936$ )における改善群、非改善群の割合比較



## 6. 考察

本研究では以下のことが明らかになった。1)BAV 施行後、術後の EOA 及び DVI は有意に改善した。2)術後の EOA と DVI の間には弱い相関関係しかなかった。3)DVI の十分な改善(術後 DVI/術前 DVI>1.3)を予測する至適なカットオフ値は  $B/AREAd>0.936$  であった。4) $B/AREAd>0.936$  を達成した患者では、有意差は認められなかったものの、AR の増悪が少なく、より良好な DVI の改善が得られる傾向にあった。

これまでの報告では、BAV の治療目標として、平均圧較差の 50mmHg 改善あるいは術前平均圧較差の 40~50%改善が推奨されてきた[2]。このような過大な圧較差改善を一貫して達成するためには、よりアグレッシブな拡張が時に必要となる。日本と比較して早期に TAVI が導入された欧米ではよりアグレッシブに BAV が行われてきた。それは、BAV 施行中に急性 AR に生じることで血行動態が破綻したとしても、Bail-out としての TAVI が可能であったからである。しかし、欧米に比し、日本への TAVI の導入が遅く、日本では TAVI が実施できない施設もある。本研究期間は TAVI が当院で実施できない期間もあった。それゆえ、BAV の手技は、経心房中隔アプローチでイノウエバルーンを使用し、2D TTE で測定された外科的弁輪径を目標に段階的な拡張を行うストラテジーで行い、最終的に圧較差の有意な改善が得られなかったとしても BAV の手技は終了した。このコンセプトに基づきながら、BAV 術中の致命的な合併症を避けるために、安全なバルーンサイズの指標を探索した。

本研究では、EOA において平均の改善は  $0.23 \text{ cm}^2$  で、DVI においては  $0.06$  であった。Narrative review[2]では、TAVI が導入される以前では EOA の平均の改善は  $0.30 (0.28-0.40)$  であったのに対し、TAVI 導入後では  $0.34 (0.21-0.43)$  であった。TAVI 導入後の EOA の改善は、より大きな群( $>0.30 \text{ cm}^2$ )あるいはより小さな群( $<0.30 \text{ cm}^2$ )に分かれており、これは BAV のコンセプトの違いを示唆していると考えられた。当院では、安全性を考慮したストラテジーで BAV を行っているが、EOA の改善程度からは、このストラテジーは欧米の TAVI 導入後よりも TAVI 導入前の改善程度に近かった。我々の BAV のストラテジーは、TAVI 導入前の欧米のコンセプトに近いこと、本研究での EOA 改善は、アグレッシブな拡張をしていない TAVI 導入前のものに匹敵していると考えられた。

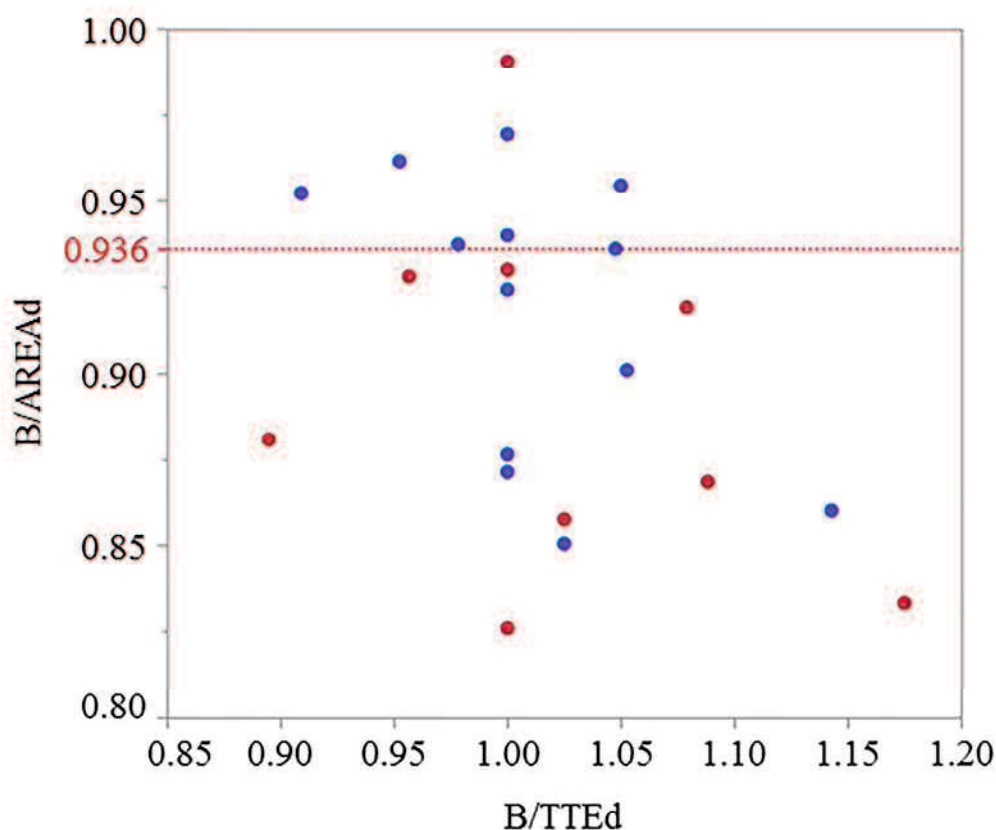
安全なバルーン拡張を行うことに基づいて、本研究では至適なバルーンサイズ選択の指標として、MSCT により測定した area-derived aortic annulus diameter (AREAd) に対する最大バルーンサイズの比のカットオフ値 ( $B/AREAd>0.936$ ) を特定した。

$B/AREAd>0.936$  を達成した 8 名のうち、7 名(88%)は BAV 施行後 AR の増悪をきたすことは少なく、十分な DVI 改善が得られた (図 5)。ただ 1 名のみ至適バルーンサイズ ( $B/AREAd>0.936$ ) を達成しているにもかかわらず、十分な DVI 改善が得られていなかった (術前  $0.19$  vs. 退院前  $0.21$ 、改善比 =  $1.11$ )。本症例は、BAV 術中に平均圧較差にお

いて 43mmHg から 19mmHg まで十分な改善が得られ、左室駆出率は 35%から 40%まで改善していた。退院前の DVI の改善が失われた原因として、急性の再狭窄が挙げられる。

アグレッシブなストラテジーはより良好な EOA の改善につながるかもしれないが、急性 AR や弁輪破裂など術中の合併症のリスクも高くなるかもしれない。B/AREAd>0.936 を指標にした BAV は、TAVI が不適な患者や TAVI が施行できない施設であったとしても、安全かつ有効な手段となるかもしれない。

図 5 全解析対象における B/AREAd に対する B/TTEd の分布



青点は改善群、赤点は非改善群を示す。

#### 研究の限界

本研究は、単一施設でのインoueバルーンを使用した経心房中隔アプローチに局限した患者数の少ない後ろ向き研究である。少ない患者数のため、B/AREAd の至適なカットオフ値を特定するために施行したロジスティック回帰分析では有意な p 値が得られなかつ

た。本研究ではこのカットオフ値の **clinical outcome** に対する影響は評価していない。さらに、本研究は **conventional balloon** を使用した逆行性アプローチでの **BAV** は含まれていない。したがって、この **B/AREAd** のカットオフ値の有用性を明らかにするためにさらなる研究が必要である。

## 7. 結語

MSCTにより測定した **area-derived aortic annulus diameter (AREAd)** に対する最大バルーンサイズの比のカットオフ値 (**B/AREAd**>0.936) を指摘バルーンサイズの指標とすることで、安全かつより効果的な **BAV** が可能となるかもしれない。

## 8. 謝辞

本研究を進めるにあたり、研究計画の立案、研究の遂行、結果の解析、論文作成にわたる全過程において御指導頂きました岡村誉之先生、研究データの蓄積においてご協力頂いた心臓カテーテル班の諸先生方、そして研究指導から討論に至る全般にわたり指導統括頂きました矢野雅文教授に深謝申し上げます。

## 9. 参考文献

1. Bonow, R.O., Carabello, B.A., Chatterjee, K., de Leon, A.C., Jr., Faxon, D.P., Freed, M.D., Gaasch, W.H., Lytle, B.W., Nishimura, R.A., O'Gara, P.T., O'Rourke, R.A., Otto, C.M., Shah, P.M. and Shanewise, J.S. Writing Committee M and American College of Cardiology/American Heart Association Task F.: 2008 Focused update incorporated into the ACC/AHA 2006 guidelines for the management of patients with valvular heart disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Revise the 1998 Guidelines for the Management of Patients With Valvular Heart Disease): endorsed by the Society of Cardiovascular Anesthesiologists, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Thoracic Surgeons. *Circulation*, **118**: e523-661, 2008.
2. Keeble, T. R., Khokhar, A., Akhtar, M. M., Mathur, A., Weerackody, R. and Kennon, S.: Percutaneous balloon aortic valvuloplasty in the era of transcatheter aortic valve implantation: a narrative review. *Open heart*, **3(2)**: e000421. 2016.
3. Saia, F., Marrozzini, C., Ciuca, C., Guastaroba, P., Taglieri, N., Palmerini, T. and Marzocchi, A.: Emerging indications, in-hospital and long-term outcome of balloon aortic valvuloplasty in the transcatheter aortic valve implantation era.



*EuroIntervention: journal of EuroPCR in collaboration with the Working Group on Interventional Cardiology of the European Society of Cardiology*, **8(12)**: 1388-1397. 2013.

4. Jabbour, A., Ismail, T. F., Moat, N., Gulati, A., Roussin, I., Alpendurada, F., et al.: Multimodality imaging in transcatheter aortic valve implantation and post-procedural aortic regurgitation: comparison among cardiovascular magnetic resonance, cardiac computed tomography, and echocardiography. *J. Am. Coll. Cardiol.*, **58(21)**: 2165-2173. 2011.
5. Sakata, Y., Syed, Z., Salinger, M.H. and Feldman, T.: Percutaneous balloon aortic valvuloplasty: antegrade transseptal vs. conventional retrograde transarterial approach. *Catheter. Cardiovasc. Interv.*, **64**: 314-21. 2005.
6. Sakata, Y., Matsubara, K., Tamiya, S., Hayama, Y. and Usui, K.: The Efficacy and Safety of Antegrade Inoue-Balloon Aortic Valvuloplasty to Treat Calcific Critical Aortic Stenosis. *J. Invasive Cardiol.*, **27.8**: 373-380. 2015.
7. Baumgartner, H., Hung, J., Bermejo, J., Chambers, J. B., Evangelista, A., Griffin, B. P., et al.: Echocardiographic assessment of valve stenosis: EAE/ASE recommendations for clinical practice. *Eur. J. Echocardiogr.*, **10**: 1-25. 2009.
8. Cerillo, A. G., Mariani, M., Berti, S. and Glauber, M.: Sizing the aortic annulus.

*Annals of cardiothoracic surgery*, **1(2)**: 245-256. 2012.

9. Omoto, R., Yokote, Y., Takamoto, S., Kyo, S., Ueda, K., Asano, H., et al.: The development of real-time two-dimensional Doppler echocardiography and its clinical significance in acquired valvular diseases. *Jpn. Heart J.*, **25(3)**: 325-340. 1984.
10. Delgado, V., Ng, A. C., Schuijf, J. D., van der Kley, F., Shanks, M., Tops, L. F., et al.: Automated assessment of the aortic root dimensions with multidetector row computed tomography. *Ann. Thorac. Surg.*, **91(3)**: 716-723. 2011.
11. Gooley, R. P., Cameron, J. D. and Meredith, I. T.: Assessment of the geometric interaction between the lotus transcatheter aortic valve prosthesis and the native ventricular aortic interface by 320-multidetector computed tomography. *JACC: Cardiovasc. Interv.*, **8(5)**: 740-749. 2015
12. Rusinaru, D., Malaquin, D., Maréchaux, S., Debry, N. and Tribouilloy, C.: Relation of dimensionless index to long-term outcome in aortic stenosis with preserved LVEF. *JACC: Cardiovasc. Imaging*, **8(7)**: 766-775. 2015.

本論文は、学位申請にあたり、掲載誌に許可をいただいたうえで、The Bulletin of the Yamaguchi Medical School Vol.65 No.3-No.4 に掲載された Optimal Balloon Size in Balloon Aortic Valvuloplasty: Results from a Retrospective Analysis of Multi-slice Computed Tomography を引用し、作成した。