

## تصميم وتوثيق نموذج هندسي محوسب ثلاثي الأبعاد لجذر الأبهري والدسام الأبهري الطبيعيين

محمد بشار عزت\*

### الملخص:

خلفية البحث وهدفه: تُشكّل صعوبة التعرف على التبدلات الدقيقة المسؤولة عن حدوث القصور الدسامي أحد العوائق الرئيسية أمام الانتشار الأوسع لعمليات تصنيع الدسام الأبهري. يمكن لتوفر مقاييس جراحية مرجعية لمكونات الدسام الأبهري أن يُساعد في تقييم آليات حدوث القصور الدسامي أثناء إجراء العمل الجراحي بطريقة ممنهجة، على أن ذلك يتطلب تطوير نموذج هندسي موثّق للدسام الأبهري الطبيعي. يُشكّل تصميم وتوثيق هذا النموذج هدف هذا البحث.

مواد البحث وطرقه: تم استخدام برنامج للتصميم الهندسي المحوسب لبناء النموذج الجديد للدسام الأبهري بالاعتماد على الدراسات الهندسية-الوصفية الموثّقة للتشريح الطبيعي. تألف الدسام الأبهري الافتراضي من ثلاثة وريقات متماثلة تتخذ وضعية الانغلاق التام، وتم تطوير سلسلة من القياسات بما يتوافق مع عدد من الأقطار المُحتملة سريرياً لجذر الأبهري. اعتمد توثيق صحة النموذج الجديد على مقارنته مع البيانات المنشورة للأبعاد الهندسية الدقيقة لوريقات الدسام الأبهري الطبيعي.

النتائج: أُجريت المقارنة المباشرة بين الأبعاد الأساسية للوريقات الأبهرية، ثم المقارنة بين النسب المختلفة للأبعاد الأساسية للوريقات، ولم تظهر أية فروقات هامة بين النموذج الجديد وبين الدراسات التشريحية في كلتا الطريقتين. يؤكد ذلك على صحة تمثيل هذا النموذج للعناصر المختلفة التي تُشكّل الدسام الأبهري الطبيعي بأشكالها الهندسية المعقّدة وبالتناسب الدقيق فيما بينها.

الاستنتاج: تم في هذه الدراسة تصميم نموذج هندسي موثّق للدسام الأبهري الطبيعي. يُشكّل توفر هذا النموذج خطوة أساسية في تطوير أدوات جراحية جديدة تساعد الجراح على تقييم البنية الدسامية بشكل موضوعي، وتفيد في توجيه التطبيق العملي لتقنيات التصنيع الجراحي للدسام الأبهري. يمكن كذلك الاعتماد على هذا النموذج في تطوير طرق جراحية جديدة للمحافظة على الدسام الأبهري.

الكلمات المفتاحية: دسام، أبهري، تشريح، تصنيع، جراحة، قلب، أبعاد، هندسة

\* قسم الجراحة، كلية الطب البشري، جامعة دمشق، الجمهورية العربية السورية [mbizzat@gmail.com](mailto:mbizzat@gmail.com)

## Design and Validation of a Computational Geometric 3D Model of the Normal Aortic Root and Aortic Valve

Mohammad Bashar Izzat\*

### Abstract

**Background and Aim:** One major limitation to the wider application of aortic valve repair techniques has been the difficulty in recognizing the exact alterations responsible for valve regurgitation. The availability of reference sizes for aortic valve components can provide objective insight into the mechanism of valve insufficiency. This, however, requires the development of a valid geometric model of the natural aortic valve. The design and validation of such model is the aim of this project.

**Material and Methods** Based on previous geometric descriptions of normal anatomy, a computer-assisted design software was used to construct the new model. The theoretical aortic valve was made of three identical cusps in the closed position, and this model was replicated across a range of proposed aortic root diameters. To validate the new model, it was compared to the precise geometric descriptions of natural aortic valve cusps.

**Results:** Direct comparisons of basic cusp dimensions were performed, then ratios of various dimensions were related, neither revealing any statistically significant difference between the new model and the anatomical studies. This confirms the validity of the new model in representing the complex geometry of aortic valve components.

**Conclusions:** A valid geometric model of the natural aortic valve was developed to assist in designing new reference instruments. Such tools will assist in the systematic intra-operative assessment of the aortic valve, and would guide the application of valve repair techniques. This model can also be used in the development of new aortic valve preservation techniques.

**Key words:** valve, aorta, anatomy, repair, surgery, heart, dimensions, geometry

\* Department of Surgery, Damascus University School of Medicine, Syria [mbizzat@gmail.com](mailto:mbizzat@gmail.com)

## المقدمة:

تتميز العناصر المختلفة التي تُشكّل الدسّام الأبهري الطبيعي بأشكالها الهندسية المعقّدة وبالتناسب الدقيق فيما بينها، وهي التي تضمن للدسّام الأبهري سلامة أداءه في الانفتاح وفي الانغلاق.<sup>1</sup> يمكن لتبدّل أحد أو بعض هذه الأشكال أو الأبعاد أن يؤدي إلى قصور الدسّام الأبهري، ويُشكّل التعرّف على التبدّلات الدقيقة المسؤولة عن حدوث القصور الدسّامي ومن ثمّ تصحيحها محور عمليات تصنيع الدسّام الأبهري وجذر الأبهري.<sup>2</sup> تتراقف عمليات تصنيع الدسّام الأبهري الحديثة مع نتائج مُرضية على المدى القريب والمتوسط،<sup>3</sup> إلا أن إجراء هذه التقنيّات يتطلّب فهماً عميقاً للهندسة الطبيعية للدسّام الأبهري السليم وآليات حدوث القصور الدسّامي.

يهدف المشروع البحثي الحالي إلى تطوير نموذج هندسي محوسب ثلاثي الأبعاد لجذر الأبهري والدسّام الأبهري الطبيعيين، مع توثيق صحّة هذا النموذج عن طريق مقارنته مع الدراسات الهندسية-الوصفية للتشريح الطبيعي المنشورة في الأدب الطبي العالمي. يفيد هذا النموذج في دراسة وفهم البنية الهندسية الطبيعية للدسّام الأبهري السليم وآليات تطوّر قصور الدسّام الأبهري. سوف يُمكننا هذا النموذج كذلك من تطوير مقاييس جراحية مرجعية لمكونات الدسّام الأبهري، وهي التي يمكن أن تُساعد أثناء إجراء العمل الجراحي في التعرّف على الشذوذات المسؤولة عن حدوث القصور الدسّامي ومن ثمّ توجيه عمليات التصنيع الجراحية. يمكن أيضاً الاستفادة من هذا النموذج في تطوير مقاربات جديدة لتوسيع أو تبديل الوريقات الأبهريّة المنكمشة، وبالتالي الاستعادة المُحكّمة لاستمساك الدسّام الأبهري.

## مواد البحث وطرائقه:

- الأسس الرياضية لتصميم النموذج الهندسي المحوسب الجديد.

اعتمد بناء النموذج الهندسي المحوسب ثلاثي الأبعاد لجذر الأبهري والدسّام الأبهري الطبيعيين على المعلومات الرياضية المُستقاة من الدراسات الهندسية-الوصفية الموثّقة للتشريح الطبيعي.<sup>3-5</sup>

تم في البدء بناء النموذج الافتراضي ثلاثي الأبعاد لجذر الأبهري على شكل وحدة أسطوانية ذات ارتفاع يساوي 70% من قطرها، وبحيث يكون قطر الدائرة المُشكّلة لقاعدة الأسطوانة (المدخل) مساوياً لقطر الدائرة المُشكّلة من ذرى الملتقيّات (المخرج).

تلى ذلك بناء نموذج محوسب للدسّام الأبهري ضمن جذر الأبهري الافتراضي بحيث تألف الدسّام من ثلاثة وريقات متماثلة في الشكل الهندسي وفي الأبعاد، وبحيث اتخذت وريقات الدسّام الأبهري وضعية الانغلاق التام. تألف سطح كل وريقة من وريقات الدسّام من جزئين؛ مثّل الجزء العلوي منهما سطح التتابع بين الوريقات. تألف سطح التتابع هذا في كل وريقة من سطحين عموديين معقّدين شكلاً زاوية  $120^0$  فيما بينهما، وتحدّد كل منهما في المحيط بالخط العمودي لارتفاع الملتقيّات، وفي الأعلى بالحافة الحرّة المائلة للوريفة، وفي المركز بالخط العمودي لارتفاع سطح التتابع. نتج الشكل المقوّس للحدود السفلية لسطح التتابع عن تقاطعه مع الجزء السفلي المنحني للوريفة، والذي تألف بدوره من ثلث أسطوانة تعادل في قطرها قطر جذر الأبهري، ويميل محورها بزاوية  $22^0$  عن المستوى الأفقي لقاعدة جذر الأبهري. تقاطعت هذه الأسطوانة في المحيط مع أسطوانة جذر الأبهري لتُشكّل الجزء المقوّس من خط ارتكاز الوريفة

إلى جذر الأبهري. تم تحديد زاوية ميلان الحافة الحرّة للوريفات عن المستوى الأفقي لجذر الأبهري بحيث تساوي  $32^{\circ}$ ، وتم تحديد ارتفاع الملتقيات بحيث يعادل 50% من ارتفاع جذر الأبهري.

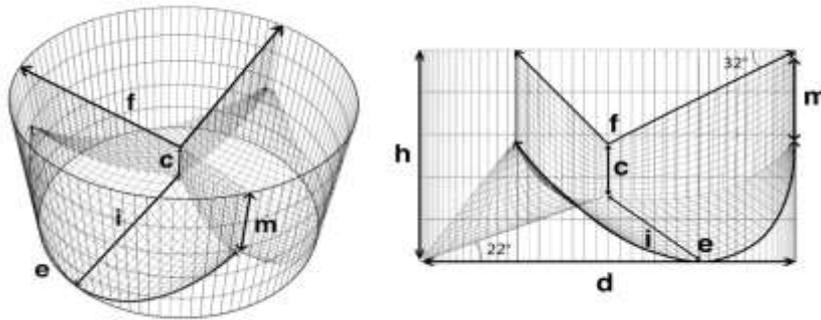
تم استخدام برنامج للتصميم الهندسي المحوسب (Autodesk Inventor Professional 2018; Autodesk,)

على الخبرة السريرية.

- توثيق صحة النموذج الهندسي المحوسب الجديد.

الجدول (1) - أبعاد جذر الأبهري والدسام الأبهري في النموذج الهندسي المحوسب ثلاثي الأبعاد (مم).

i	e	f	c	m	h	d
طول السطح السفلي	طول خط الارتكاز	طول الحافة الحرّة	ارتفاع سطح التناطبق	ارتفاع الملتقيات	ارتفاع جذر الأبهري	قطر جذر الأبهري
10.26	38	22.44	3.49	6.64	13.3	19
11.34	42	24.80	3.85	7.34	14.7	21
12.42	46	27.16	4.23	8.04	16.1	23
13.50	50	29.52	4.60	8.74	17.5	25
14.58	54	31.90	4.96	9.44	18.9	27
15.66	58	34.26	5.33	10.14	20.3	29
16.74	62	36.62	5.69	10.83	21.7	31



الشكل (1) - النموذج الهندسي المحوسب ثلاثي الأبعاد لجذر الأبهري والدسام الأبهري. (d) قطر جذر الأبهري، (h) ارتفاع جذر الأبهري، (m) ارتفاع الملتقيات، (c) ارتفاع سطح التناطبق، (f) الحافة الحرّة للوريفة، (i) طول السطح السفلي للوريفة، و (e) خط ارتكاز الوريقة.

تمت مراجعة قاعدة البيانات الخاصة بالمكتبة الطبية الدولية باستخدام الكلمات المفتاحية التالية: دسام، أبهري، الوطنية الأمريكية من خلال موقع PubMed على الشابكة تشريح، تصنيع، جراحة، قلب، أبعاد، هندسة. تلى ذلك

تساوي قيمتها 0.05 أو أقل على أنها المؤشر على وجود أهمية إحصائية.

### النتائج:

يُظهر الجدول 1 الأبعاد الدقيقة لمكونات جذر الأبهري والدسّم الأبهري في النموذج الهندسي المحوسب الجديد. بهدف توثيق صحة هذا النموذج، أُجريت في البدء المقارنة المباشرة بين الأبعاد الأساسية للوريقات الأبهريّة في النموذج الهندسي المحوسب وفي الدراسات التشريحية. اشتملت الدراسة على المقارنة بين أطوال الحافة الحرة للوريقة وخط ارتكاز الوريقة والارتفاع الهندسي للوريقة (الذي تم تعريفه بأنه المسافة ما بين أخفض نقطة من خط ارتكاز الوريقة ومنتصف الحافة الحرة للوريقة)، بالإضافة إلى المقارنة بين المساحة الكلية لسطوح التطابق. لم تُظهر في هذه المقارنة أيّة فروقات هامة إحصائية بين النموذج الهندسي المحوسب والدراسات التشريحية (الجدول 2).

مراجعة الأبحاث المُنتقاة لاختيار ما يتعلّق منها بموضوع البحث ثم تدقيق قوائم المراجع الخاصة بكلّ منها. نتج عن المراجعة استخراج ثلاثة دراسات مُفصّلة توقّرت فيها مجموعة من البيانات المتعلّقة بالأبعاد الهندسية الدقيقة للوريقات الدسّم الأبهري في عينات من الطعوم البشرية الطبيعية،<sup>6-8</sup> وشكّلت هذه الدراسات محور المقارنة التي أُجريت لتوثيق صحّة النموذج الهندسي المحوسب الجديد.

### - الدراسة الإحصائية:

أجري تحليل البيانات باستخدام برمجية (PASW®) (Statistics 18 software, SPSS Inc., Chicago, IL)، وتم عرض النتائج على شكل المتوسط  $\pm$  الانحراف المعياري. تم استخدام اختبار Student-t في المقارنة الرئيسية للاختلافات بين المجموعات، وتم اعتبار  $p$  التي

الجدول (2) - الأبعاد الأساسية للوريقات الأبهريّة في النموذج الهندسي المحوسب وفي الدراسات التشريحية.

P	De Kerchove <sup>8</sup>	Labrosse <sup>7</sup>	النموذج الهندسي	
ns	(3.1±) 34.31	(5.0±) 31.21	(5.10±) 29.52	طول الحافة الحرة للوريقة (مم)
ns	(4.9±) 51.00	-	(8.64±) 50.00	طول خط ارتكاز الوريقة (مم)
ns	(1.5±) 18.91	(3.3±) 14.49	(3.12±) 18.09	الارتفاع الهندسي (مم)
ns	(32±) 184	-	(68±) 203	المساحة الكلية لسطوح التناطبق (مم <sup>2</sup> )

\* تم عرض النتائج على شكل: المتوسط (± الانحراف المعياري).

الجدول (3) - نسب الأبعاد الأساسية للوريقات الأبهريّة في النموذج الهندسي المحوسب والدراسات التشريحية.

P	De Kerchove <sup>8</sup>	Swanson <sup>6</sup>	النموذج الهندسي	
ns	-	0.37	0.35	نسبة ارتفاع الملتقيات إلى قطر جذر الأبهري
ns	-	0.17	0.18	نسبة ارتفاع سطح التناطبق إلى قطر جذر الأبهري
ns	1.29	-	1.28	نسبة طول الحافة الحرة إلى قطر جذر الأبهري
ns	0.71	-	0.72	نسبة الارتفاع الهندسي إلى قطر جذر الأبهري
ns	1.1	-	0.97	نسبة ارتفاع الملتقيات إلى الارتفاع الهندسي
ns	2.69	-	2.70	نسبة طول خط ارتكاز الوريقة إلى الارتفاع الهندسي
ns	0.45	-	0.48	نسبة الارتفاع الفعال إلى الارتفاع الهندسي

المدرسة في النموذج الهندسي المحوسب وفي الدراسات التشريحية (الجدول 3).

### المناقشة:

تم في هذا المشروع البحثي تطوير نموذج هندسي محوسب ثلاثي الأبعاد لجذر الأبهري والدسام الأبهري الطبيعيين، مع توثيق صِحّة تمثيل هذا النموذج للعناصر المختلفة التي تُشكّل الدسام الأبهري الطبيعي بأشكالها الهندسية المعقّدة وبالتناسب الدقيق فيما بينها.

يُفترض تصميم النموذج الحالي أن الدسام الأبهري يتألف من ثلاثة وريقات متماثلة في الأبعاد. على الرغم من أن الوريقات الدسامية الثلاثة قد تفاوتت في قياساتها في بعض الحالات، إلا أن الدراسات التشريحية الأخيرة أظهرت أن طول الحافة الحرة يبقى متساوياً في الوريقات الثلاث،<sup>8</sup> وأن

بالنظر إلى أن عدد العينات في الدراسات التشريحية كان محدوداً وإلى إتساع طيف أقطار جذر الأبهري فيها،<sup>6-8</sup> فقد قمنا بتطبيق توصيات Swanson<sup>6</sup> و Subramanian<sup>9</sup> بأن تُستخدَم النسب بين أبعاد مكونات الدسام الأبهري بدلاً من القيم المطلقة لهذه الأبعاد. تم لذلك إجراء المقارنة بين النسب المختلفة للأبعاد الأساسية للوريقات الأبهريّة، وهذه الأبعاد هي: قطر جذر الأبهري، طول الحافة الحرة، طول خط ارتكاز الوريقة، الارتفاع الهندسي، ارتفاع الملتقيات، ارتفاع سطح التناطبق، والارتفاع الفعال (الذي تم تعريفه بأنه ارتفاع منتصف الحافة الحرة عن المستوى الأفقي لقاعدة جذر الأبهري). أظهرت هذه المقارنة تطابقاً تاماً بين النسب

سطوح التوافق الواسعة قادرة على استيعاب درجة معتدلة من عدم التوافق بين أبعاد الوريقات الأبهرية دون أن ينتج عن ذلك أي قصور في الدسّام.<sup>7</sup> بالإضافة إلى ذلك فإن هذا النموذج يُظهر بدقّة أن تطاول الحافة الحرة للوريفة الدسّامية يمكن أن يصل حتى 20% من الطول الطبيعي قبل أن تتسدل الحافة الحرة إلى أدنى الحدود السفلية لسطح التوافق ليحدث القصور الدسّامي.

لقد تم تصميم نموذج جذر الأبهر بحيث يكون قطر الدائرة المُشكّلة لقاعدة الأسطوانة مساوياً لقطر الدائرة المُتشكّلة من الملتقيات، وقد اعتمد ذلك على ملاحظة أن الملتقيات الدسّامية تقع إلى الأسفل من الوصل الجيبي-الأنبوبي بحوالي مليميتر واحد، وهو المستوى الذي يتقارب فيه قطر جذر الأبهر مع قطر الوصل البطيني-الشريني،<sup>2</sup> كما أن دراسات عديدة قد أشارت إلى أن النسبة بين هذين القطرين تبقى قريبة من  $1(1.2 \pm 0.1)$  طوال الدورة القلبية، وإلى أن النسبة الأمثل بينهما هي 1:1.<sup>4,5</sup>

#### الخلاصة:

تم في هذا المشروع البحثي تطوير وتوثيق نموذج هندسي محوسب دقيق لجذر الأبهر والدسّام الأبهر الطبيعيين، وهو يُشكّل أحد العناصر الأساسية للمقارنة التي نعتمدها للتقدّم في تقنيّات الجراحة التصنيعية للدسّام الأبهر.

#### كلمة شكر:

يتقدم المؤلف بالشكر للأستاذ المهندس فراس الباشا لمساعدته في إجراء القياسات وتنفيذ النموذج الهندسي الحاسوبي، وللأستاذ أحمد وليد عزت لمساعدته في إنجاز الرسوم الخاصة بهذا البحث.

من الناحية التطبيقية، يفيد النموذج الهندسي المحوسب الجديد في دراسة وفهم آليات حدوث القصور الدسّامي، ومن ثم الإحاطة بالتقنيّات المعقّدة لتصنيع جذر الأبهر مثل عمليات إعادة الزرع (عملية ديفيد) وإعادة التشكيل (عملية يعقوب).<sup>1</sup> سوف يتم الاعتماد على هذا النموذج في تطوير مقاييس جراحية مرجعية لمكوّنات الدسّام الأبهر. يمكن لهذه المقاييس أن تساعد في تقييم آليات حدوث القصور الدسّامي أثناء إجراء العمل الجراحي بطريقة ممنهجة

### References:

1. Izzat MB. Reconstructive Surgery of the aortic valve. *British Journal of Hospital Medicine (Lond)* 2017;78:199-205.
2. Jeanmart H, de Kerchove L, Glineur D, *et al.* Aortic valve repair: the functional approach to cusp prolapse and valve-sparing surgery. *Ann Thorac Surg* 2007;83:S746–51.
3. David TE. An anatomic and physiologic approach to acquired heart disease. *Eur J Cardiothorac Surg* 1995;9:175–80.
4. Thubrikar M, Piepgrass WC, Shaner TW, *et al.* The design of the normal aortic valve. *Am J Physiol* 1981;241:H795–801.
5. Rankin JS, Dalley AF, Crooke PS, *et al.* A hemispherical model of aortic valvar geometry. *J Heart Valve Dis* 2008;17:179–86.
6. Swanson WM, Clark RE. Dimensions and geometric relationships of the human aortic valve as a function of pressure. *Circ Res* 1974;35: 871–82.
7. Labrosse MR, Beller CJ, Robicsek F, *et al.* Geometric modeling of functional tricuspid aortic valves: development and clinical applications. *J Biomech* 2006;39:2665–72.
8. De Kerchove L, Momeni M, Aphram G, *et al.* Free margin length and coaptation surface area in normal tricuspid aortic valve: an anatomical study. *Eur J Cardiothorac Surg* 2018;53:1040-48.
9. Subramanian S, Tikhomirov V, Bharati S, *et al.* Relationship of normal aortic valve cusp dimensions: a tool to optimize cusp reconstruction valvuloplasty. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 2016;28:521-527.