

ĐẶC ĐIỂM ĐƯỜNG HÔ HẤP TRÊN BỆNH NHÂN SAI HÌNH XƯƠNG HẠNG II BẰNG KỸ THUẬT CBCT VÀ ĐỘNG LỰC HỌC DÒNG CHẢY (CFD)

Vũ Thị Thu Trang, Vũ Đình Việt Anh, Nguyễn Trọng Hiếu
Nguyễn Thị Thu Phương và Lê Đình Tùng✉

Trường Đại học Y Hà Nội

Với mục tiêu đánh giá đặc điểm đường hô hấp trên bệnh nhân sai hình xương hạng II bằng CBCT và kỹ thuật CFD. Nhóm tác giả đã sử dụng phương pháp nghiên cứu mô tả cắt ngang trên 124 phim CBCT của các đối tượng có sai hình xương hạng II và kết luận rằng trong sai hình xương hạng II, giá trị trung bình của sai lệch giữa xương hàm trên và hàm dưới ở nhóm bệnh nhân nghiên cứu này là $5,84^{\circ}$. Ngoài ra, tổng thể tích đường hô hấp trên ở nhóm này trung bình là $21,05\text{mm}^3$ trong khi diện tích mặt cắt ngang nhỏ nhất (CMA) ở nhóm này trung bình là $180,07\text{mm}^2$. Áp lực dòng chảy lớn nhất trung bình là $5,84\text{Pa}$ trong khi vận tốc dòng chảy lớn nhất là $2,01\text{ m/s}$.

Từ khóa: Sai hình xương loại II, phim CBCT, CFD.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đo động lực học dòng chảy đường hô hấp trên (HUA) là một lĩnh vực nghiên cứu quan trọng trong y học và kỹ thuật, đặc biệt là trong việc mô phỏng các đặc tính của luồng không khí qua các cơ quan hô hấp trên như mũi, họng, và thanh quản. Việc nghiên cứu động lực học dòng chảy này giúp các nhà khoa học và bác sĩ đánh giá hiệu quả của các can thiệp y tế, chẳng hạn như phẫu thuật hay điều trị bằng thuốc, đồng thời cải thiện việc thiết kế các thiết bị hỗ trợ hô hấp.

Một trong những phương pháp phổ biến nhất trong nghiên cứu động lực học dòng chảy đường hô hấp trên là sử dụng mô phỏng động lực học chất lỏng (CFD). CFD là một công cụ mạnh mẽ giúp mô phỏng dòng chảy không khí trong các đường hô hấp, qua đó cung cấp những thông tin quan trọng về áp suất, vận tốc và sự phân bố dòng chảy trong các khoang hô

hấp. Các mô phỏng này có thể giúp phân tích những vấn đề như tắc nghẽn đường thở, ảnh hưởng của dị dạng cấu trúc đường hô hấp, hay các tác động của điều trị hô hấp. Đặc biệt, mô phỏng CFD có thể được kết hợp với phân tích cấu trúc để nghiên cứu sự tương tác giữa dòng chảy không khí và các mô mềm của đường hô hấp, được gọi là mô phỏng tương tác chất lỏng - cấu trúc (FSI).¹

Một số nghiên cứu đã chỉ ra rằng CFD có thể được sử dụng để mô phỏng chính xác dòng chảy không khí trong các mô hình 3D của đường hô hấp được tạo ra từ các hình ảnh y khoa, như CT hay MRI. Phần mềm như Mimics được sử dụng để chuyển đổi các hình ảnh y khoa thành mô hình 3D, sau đó sử dụng các phần mềm như ANSYS để phân tích dòng chảy và tối ưu hóa thiết kế phẫu thuật hoặc điều trị. Mô phỏng CFD không chỉ giúp nhận diện các khu vực bị tắc nghẽn mà còn giúp cải thiện thiết kế các thiết bị hỗ trợ hô hấp như ống thở hay máy thở.^{2,3}

Để đảm bảo tính chính xác của các mô phỏng này, các mô hình động lực học dòng

Tác giả liên hệ: Lê Đình Tùng

Trường Đại học Y Hà Nội

Email: tung@hmu.edu.vn

Ngày nhận: 20/02/2025

Ngày được chấp nhận: 28/02/2025

chảy cần được kiểm tra và hiệu chỉnh qua các thí nghiệm thực tế. Nhiều nghiên cứu đã tập trung vào việc xác định các mô hình bậc thang hoặc mô hình mô phỏng động lực học cho dòng chảy không ổn định, với các loại mô hình cuộn xoáy và nhiễu loạn được áp dụng để mô tả chính xác hành vi của dòng chảy không khí trong các tình huống khác nhau.^{4,5}

Chính vì vậy, với mục đích cung cấp thêm thông tin giúp các bác sĩ rằng hàm mật có những dữ liệu tham khảo về kích thước và chức năng của đường hô hấp trên chúng tôi tiến hành nghiên cứu đánh giá đặc điểm đường hô hấp trên bệnh nhân sai hình xương hạng II bằng kĩ thuật CBCT và CFD.

II. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP

1. Đối tượng

Phim CBCT của bệnh nhân 18 - 25 tuổi và có tương quan xương loại II (ANB > 4°).

Loại trừ: bệnh nhân có tiền sử điều trị chỉnh hình răng mặt.

2. Phương pháp

Nghiên cứu thực hiện theo thiết kế mô tả cắt ngang, trên phim CBCT:

$$n = Z_{1-\alpha/2}^2 \frac{s^2}{(X \cdot \epsilon)^2}$$

n: Cỡ mẫu.

α : Mức ý nghĩa thống kê.

$\alpha = 0,05$ - > hệ số giới hạn tin cậy $Z_{1-\alpha/2} = 1,96$.

x: Giá trị trung bình từ nghiên cứu trước đó.²

S: Độ lệch chuẩn lấy từ nghiên cứu trước đó.²

ϵ : Mức sai lệch tương đối giữa tham số mẫu và tham số quần thể.

Căn cứ vào công thức trên và các nghiên cứu có trước của các tác giả khác, chúng tôi tính được cỡ mẫu $n = 80$. Thực tế, nghiên cứu trên 124 phim CBCT của đối tượng tham gia nghiên cứu có sai hình xương hạng II.

Thời gian nghiên cứu

Từ tháng 11/2022 đến tháng 04/2023.

Địa điểm nghiên cứu

Viện đào tạo RHM - Đại học Y Hà Nội.

Phương tiện nghiên cứu:

Máy X-quang kĩ thuật số của hãng Sirona tại Viện Đào Tạo RHM. Phần mềm Invivo – Anatomage tại Viện Đào Tạo RHM và phần mềm Ansys Fluent (phiên bản R2023).

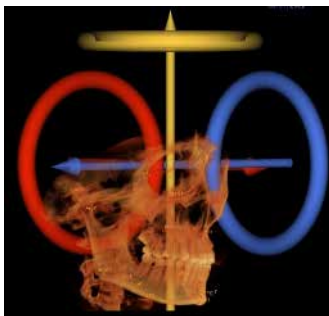
Các bước tiến hành nghiên cứu:

- Tập huấn chụp phim cho KTV X-quang.
- Khám sơ bộ đối tượng nghiên cứu theo tiêu chuẩn lựa chọn và tiêu chuẩn loại trừ.
- Tiến hành chụp CBCT, hướng dẫn đối tượng nghiên cứu đứng đúng tư thế chụp phim.
- Tư thế người được chụp: đứng thẳng với lưng vuông góc sàn nhà, mặt phẳng Frankfort là mặt phẳng tham chiếu. Chụp phim ở tư thế răng lồng mũi tối đa.
- Đọc phim trên máy tính để kiểm tra phim có đủ tiêu chuẩn của đối tượng nghiên cứu không.
- Tái thiết lập hệ tọa độ của phức hợp sọ mặt.
- Đo đạc các chỉ số trên phim bằng các phần mềm đo phim 3D và phần mềm động lực học dòng chảy Ansys.

Các biến số nghiên cứu*Các kích thước đo:*

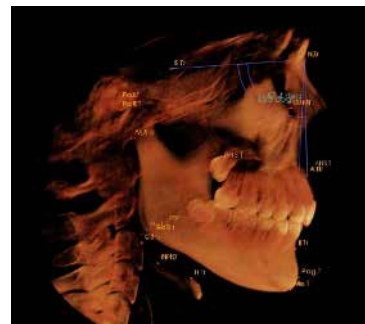
Biến số	Định nghĩa – Cách xác định	Loại biến	Chỉ số	Công cụ thu thập
Giới	Nam/nữ	Định tính		Bệnh án
Tuổi	Năm	Định lượng	SD	Bệnh án
Góc SNA	Góc tạo bởi Sella, Nasion và điểm A	Định lượng	SD	Phim CBCT, phần mềm Anatomage
Góc SNB	Góc tạo bởi Sella, Nasion và điểm B	Định lượng	SD	Phim CBCT, phần mềm Anatomage
Góc ANB	SNA- SNB(°) Khác biệt giữa SNA và SNB	Định lượng	SD	Phim CBCT, phần mềm Anatomage
A to N perp	Khoảng cách từ A vuông góc với Na (Mc Namara)	Định lượng	SD	Phim CBCT, phần mềm Anatomage
Pog to N perp	Khoảng cách từ Pog vuông góc với Na (Mc Namara)	Định lượng	SD	Phim CBCT, phần mềm Anatomage
Mand length Chiều dài xương hàm dưới	Khoảng cách giữa Gonion và Menton	Định lượng	SD	Phim CBCT, phần mềm Anatomage
Facial convexity – Góc lồi mặt	Góc tạo bởi Nasion, điểm A và Pogonion	Định lượng	SD	Phim CBCT, phần mềm Anatomage
FMA	Góc giữa mặt phẳng hàm dưới và mặt phẳng Frankfort	Định lượng	SD	Phim CBCT, phần mềm Anatomage
AFH	Khoảng cách giữa Nasion và Menton	Định lượng	SD	Phim CBCT, phần mềm Anatomage
PFH	Khoảng cách giữa Sella và Gonion	Định lượng	SD	Phim CBCT, phần mềm Anatomage
AFH/PFH	Tỉ lệ giữa AFH và PFH	Định lượng	SD	Phim CBCT, phần mềm Anatomage
Mặt phẳng hầu giữa (Mph plane)	Mặt phẳng ngang song song với mặt phẳng FH, đi qua bờ khẩu cái mềm	Định lượng	SD	Phim CBCT, phần mềm Anatomage

Biến số	Định nghĩa – Cách xác định	Loại biến	Chỉ số	Công cụ thu thập
Mặt phẳng hầu dưới (Lph plane)	Mặt phẳng ngang song song với mặt phẳng FH, đi qua bờ trên của nắp thanh môn	Định lượng	SD	Phim CBCT, phần mềm Anatomage
Thể tích hầu phía trên	Giới hạn bởi mặt phẳng Pna và Uph	Định lượng	SD	Phim CBCT, phần mềm Anatomage
Thể tích hầu giữa	Giới hạn bởi mặt phẳng Uph và Mph	Định lượng	SD	Phim CBCT, phần mềm Anatomage
Thể tích hầu dưới	Giới hạn bởi mặt phẳng Mph và Lph	Định lượng	SD	Phim CBCT, phần mềm Anatomage
Tổng thể tích	Tổng thể tích đường hô hấp vùng hầu (mm^3)	Định lượng	SD	Phim CBCT, phần mềm Anatomage
CSA (Cross Section Area)	Thiết diện cắt ngang nhỏ nhất (mm^2)	Định lượng	SD	Phim CBCT, phần mềm Anatomage
Pressure max	Áp suất lớn nhất của luồng khí - Pa	Định lượng	SD	Phim CBCT, phần mềm Ansys
Velocity	Vận tốc luồng khí - m/sec	Định lượng	SD	Phim CBCT, phần mềm Ansys



Hình 1. Tái thiết lập vị trí đúng của phức hợp sọ mặt

Chúng tôi mô phỏng dòng chảy hỗn loạn để ước tính các kiểu luồng khí ảo ở đường hô hấp trên. Sau khi xác định được khu vực cần khảo sát, bề mặt các mô hình ba chiều của đường hô hấp trên được tạo từ các file định dạng DICOM của phân loại xương hạng II sau đó được xuất dưới file định dạng (STL). Sau



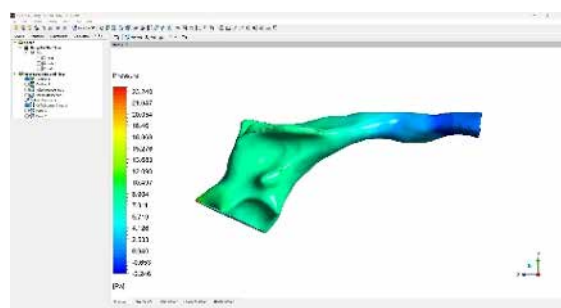
Hình 2. Các góc SNA, SNB, ANB được đo đạc nhằm xác định sai hình xương hạng II

đó, các định dạng STL được đưa vào phần mềm ANSYS Spaceclaim để tạo dạng hình học. Một mô phỏng dạng lưới với các đặc tính kỹ thuật của các bề mặt giới hạn, được thực hiện bởi phần mềm ANSYS Fluent Meshing (Canonsburg, PA). Một lưới không có cấu trúc bao gồm các ô lục giác và đa diện đã được

tạo ra và bản CFD thương mại Ansys Fluent (phiên bản R2023) đã được sử dụng để tạo ra mô hình nhiễu loạn phương trình kép tiêu chuẩn ($k-\omega$). Tốc độ dòng thể tích được đặt là 200 mL mỗi phút và đi qua khỏi ống liên tục được giả định theo các nghiên cứu trước. Áp suất khí quyển tiêu chuẩn là 1 atm được giả định ở khu vực đầu ra. Mỗi mô phỏng cho mỗi bệnh nhân được tính toán thông qua phương trình Navier-Stokes duy trì ở trạng thái với 1000 lần lặp, tiêu chí hội tụ nhỏ hơn $1e-4$ cho tất cả các phần dư. Mô phỏng CFD được thực

hiện với CPU i7-13th, RAM 95Gb. và mỗi mô phỏng mất khoảng 20 phút để hoàn thành. Do yêu cầu về sức mạnh tính toán và thời gian xử lý khổng lồ cho việc phân tích và xử lý từng hình ảnh, việc xây dựng mô hình 3D mất khoảng 10 phút, tùy thuộc vào chất lượng hình ảnh. Các mẫu đại diện cho từng bước được trình bày theo các bước:

- a- Xác định khu vực nghiên cứu
- b- Tạo dạng hình học lưới
- c- Cài đặt điều kiện
- d- Phân tích kết quả



Hình 3. Mô phỏng động lực học chất lỏng thực hiện bởi phần mềm Ansys

Xử lý số liệu

Việc thu thập và nhập số liệu được quy ước chuẩn hóa và tập huấn cho điều tra viên trước khi tiến hành thu thập.

Số liệu được xử lý trước khi nhập vào máy tính

Số liệu được nhập trên phần mềm Microsoft Office Excel 2007 và được xử lý, phân tích trên

phần mềm SPSS 22.0 với các phương pháp thống kê y học phù hợp.

3. Đạo đức nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu tự nguyện tham gia nghiên cứu. Các thông tin được giữ bí mật và chỉ phục vụ cho mục đích nghiên cứu.

III. KẾT QUẢ

Bảng 1. Đặc điểm cấu trúc của nhóm sai hình xương hạng II được đo bằng phần mềm phân tích phim 3D Anatomage

	Hạng II		p-value
	Mean	SD	
SNA (°)	83,1	3,61	< 0,001
SNB (°)	77,67	3,88	< 0,001
ANB (°)	5,84	1,56	< 0,001
Góc hàm (°)	120,00	5,83	0,020

	Hạng II		p-value
	Mean	SD	
A to N perp. (mm)	3,72	3,23	0,002
Pog to N perp. (mm)	-3,84	7,04	< 0,001
Chiều dài xương hàm dưới (mm)	82,08	4,62	< 0,001
Góc lỗi mặt (°)	12,03	4,01	< 0,001
FMA (°)	24,92	6,52	< 0,001
AFH (mm)	114,35	7,44	< 0,001
PFH (mm)	73,18	14,05	0,007
AFH/PFH	1,51	0,18	0,038
Thể tích đường hô hấp trên ở phân đoạn hầu trên (mm ³)	8,24	3,98	0,100
Thể tích đường hô hấp trên ở phân đoạn hầu giữa (mm ³)	7,67	3,05	0,003
Thể tích đường hô hấp trên ở phân đoạn hầu dưới (mm ³)	5,84	3,11	0,004
Tổng thể tích đường hô hấp trên (mm ³)	21,05	7,66	0,001
CMA (mm ²)	180,07	80,30	0,002

Như vậy, giá trị trung bình của sai lệch giữa xương hàm trên và hàm dưới ở nhóm bệnh nhân nghiên cứu này là 5,84⁰.

Tổng thể tích đường hô hấp trên ở nhóm này trung bình là 21,05mm³ trong khi diện tích mặt cắt ngang nhỏ nhất (CMA) ở nhóm này trung bình là 180,07mm².

Bảng 2. Đặc điểm chức năng dẫn khí của nhóm sai hình xương hạng II được đo bằng phần mềm phân tích Ansys Fluent

	Hạng II xương		p-value
	Mean	SD	
Áp lực dòng chảy lớn nhất (Pa)	5,84	5,36	0,009
Vận tốc dòng chảy lớn nhất (m/s)	2,01	0,99	0,002

Trong sai hình xương hạng II, áp lực dòng chảy lớn nhất trung bình là 5,84Pa trong khi vận tốc dòng chảy lớn nhất là 2,01 m/s.

IV. BÀN LUẬN

Tái cấu trúc những lát phim sọ nghiêng từ hình ảnh 3D (CBCT) được sử dụng trong nghiên cứu này. Một nghiên cứu khác cũng so sánh độ chính xác của các phép đo kích

thước giữa phim sọ nghiêng truyền thống và phim CBCT cho thấy có sự khác biệt đáng kể từ kích thước thật sự cho các phép đo kích thước ở phim sọ nghiêng. Ngược lại, trên phim CBCT, không có sự khác biệt đáng kể so với giá trị thực tế. Điều này cho thấy phim CBCT dường như mang lại độ chính xác cao hơn so với phim sọ nghiêng truyền thống và do đó CBCT được khuyến khích sử dụng như một công cụ mạnh mẽ và cần thiết trong nghiên cứu và chẩn đoán.⁶ CBCT tạo ra hình ảnh 3D chính xác về mặt giải phẫu mà không bị phóng đại hoặc biến dạng, cho phép đo chính xác ở cả ba chiều trong không gian. Điều này cho phép chúng ta hiểu biết toàn diện về hình thái hầu họng ở trẻ đang tăng trưởng đồng thời cung cấp những hiểu biết có giá trị hỗ trợ chẩn đoán và lập kế hoạch điều trị. Theo Nojima và cộng sự khi đánh giá đường thở ở các sai hình xương loại II, gợi ý rằng thể tích và hình thái đường hô hấp trên tương tự nhau ở các dạng xương khác nhau của sai hình xương hạng II.⁷ Chiều dài thực tế của xương hàm trên và hàm dưới liên quan chặt chẽ hơn đến thể tích và hình thể đường thở trên hơn là các góc, điều này phản ánh vị trí của chúng so với nền sọ. Trong nghiên cứu của chúng tôi, chiều dài xương hàm dưới trung bình là 82,08mm và tổng thể tích trung bình đường hô hấp trên là 21,05mm³.

Lợi ích của việc áp dụng phương pháp CFD so với các phương pháp phân tích cơ học chất lỏng khác là tiết kiệm đáng kể chi phí và thời

gian, khả năng phân tích các hệ thống hoặc điều kiện cực kỳ phức tạp thông qua mô phỏng thực nghiệm (chẳng hạn như trong trường hợp đường hô hấp), cũng như mức độ chi tiết gần như vô hạn. Bởi vì phần lớn đánh giá hình thể thông thường của đường hô hấp trên được thực hiện trực dọc theo chiều dài đường hô hấp trên và diện tích của mặt cắt ngang nhỏ nhất, điều này không phản ánh chính xác.⁸ Các thành của đường hô hấp trên được tạo bởi cấu trúc mô mềm mà cấu trúc này bị ảnh hưởng bởi đường kính thành ống, và cấu trúc xương sọ mặt sẽ xác định kích thước chung của đường hô hấp trên. Kỹ thuật CFD có thể đánh giá luồng không khí trong lòng ống phức tạp này một cách chính xác hơn. Do đó, CFD sẽ được kỳ vọng cho thấy sự khác biệt lớn hơn so với các phương pháp đánh giá hình thái học đơn thuần khác. Ngoài ra, kỹ thuật CFD được sử dụng để nghiên cứu dòng khí trước và sau các phẫu thuật như nạo amidan và phẫu thuật hàm mặt. Nhiều nhà nghiên cứu đã phân tích cơ chế dòng khí qua các thông số như vận tốc, áp suất và ứng suất cắt. Phương trình Navier-Stokes được sử dụng để mô phỏng cơ chế thực tế của dòng khí, giúp hiển thị rõ ràng hơn cơ chế dòng chảy và năng lượng động học hỗn loạn (TKE). TKE và sự tiêu tán năng lượng hỗn loạn (TED) có thể cung cấp các kết quả quan trọng, như ứng suất cắt thành (WSS), từ đó giúp nhận biết tổn thương thành và khả năng vỡ cấu trúc thành đường hô hấp khi thành khí quản phồng lên hoặc lười sụp xuống, gây tắc nghẽn.⁹

Bảng 3. So sánh với các nghiên cứu khác về đánh giá chức năng dẫn khí của đường hô hấp trên

	Hạng II xương	
	Nghiên cứu của chúng tôi	Iwasaki và cộng sự¹⁰
Áp lực dòng chảy lớn nhất (Pa)	5,84 ± 5,36	49,15 ± 7,53
Vận tốc dòng chảy lớn nhất (m/s)	2,01 ± 5,36	7,53 ± 3,19

Trong bảng 3, khi đánh giá kết quả về vận tốc và áp suất dẫn khí lớn nhất ở đường hô hấp trên nghiên cứu của chúng tôi khác biệt với các nghiên cứu khác, điều này có thể được giải thích do sự khác biệt về chủng tộc, cỡ mẫu, lứa tuổi và phân loại sai hình xương theo chiều đứng.¹⁰ Taylor và CS đã nghiên cứu về sự phát triển xương và mô mềm của vùng hầu họng và nhận ra rằng kích thước từ gai mũi sau đến thành họng và từ phía sau khẩu cái mềm đến thành hầu tăng sẽ đẩy nhanh sự thay đổi (6 - 9 tuổi và 12 - 15 tuổi) và hai giai đoạn im lặng (9 - 12 tuổi và 15 - 18 tuổi) đã được xác định.¹¹ Như vậy, sự phát triển đường thở hầu họng gần như hoàn thiện năm 15 tuổi.

Nghiên cứu của chúng tôi tập trung vào các đối tượng sai hình xương hạng II, một loại sai hình dễ ảnh hưởng đến chức năng thở khi nằm dưới lưỡi sau. Để có một cái nhìn tổng quát hơn, chúng tôi đề xuất thực hiện những nghiên cứu xa hơn mở rộng với cỡ mẫu lớn được thực hiện trên các sai hình khớp cắn, sai hình xương khác nhau (I, II, III) nhằm so sánh và đánh giá chức năng dẫn khí trên các sai hình này cho người Việt.

V. KẾT LUẬN

Bằng cách sử dụng phim CBCT của đối tượng tham gia nghiên cứu với sai hình xương hạng II, nghiên cứu của chúng tôi đã tính được kích thước giá trị trung bình của sai lệch giữa xương hàm trên và hàm dưới ở nhóm bệnh nhân nghiên cứu này là 5,84°.

Tổng thể tích đường hô hấp trên ở nhóm này trung bình là 21,05mm³ trong khi diện tích mặt cắt ngang nhỏ nhất (CMA) ở nhóm này trung bình là 180,07mm². Áp lực dòng chảy lớn nhất trung bình là 5,84Pa trong khi vận tốc dòng chảy lớn nhất là 2,01 m/s.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được thực hiện tại Viện Đào Tạo Răng Hàm Mặt - Trường Đại học Y

Hà Nội. Tôi xin chân thành cảm ơn tất cả các đồng nghiệp, giảng viên và những người đã hỗ trợ tôi trong quá trình thực hiện nghiên cứu này. Hy vọng nghiên cứu này sẽ đóng góp một phần nhỏ vào sự phát triển của lĩnh vực răng hàm mặt cũng như tai mũi họng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Mylavarapu G, Murugappan S, Mihaescu M, Kalra M, Khosla S, Gutmark EJ. Validation of computational fluid dynamics methodology used for human upper airway flow simulations. *J Biomech Eng.* 2009; 42(10): 1553-1559.
2. Wang Y, Wang J, Liu Y, Yu S, Sun X, Li S, et al. Fluid-structure interaction modeling of upper airways before and after nasal surgery for obstructive sleep apnea. *J Biomech.* 2012; 28(5): 528-546.
3. Ayodele OJ, Oluwatosin AE, Taiwo OC, Dare AA. Computational fluid dynamics modeling in respiratory airways obstruction: current applications and prospects. *Int J Biomech Sci Eng.* 2021; 9: 16-26.
4. Pirnar J, Dolenc-Grošelj L, Fajdiga I, Žun I. Computational fluid-structure interaction simulation of airflow in the human upper airway. *J Biomech Eng.* 2015; 48(13): 3685-3691.
5. Fraser KH, Taskin ME, Griffith BP, Wu Z. The use of computational fluid dynamics in the development of ventricular assist devices. *J Mech Phys Solids.* 2011; 33(3): 263-280.
6. Lowe AA, Fleetham JA, Adachi S, Ryan CF. Cephalometric and computed tomographic predictors of obstructive sleep apnea severity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1995; 107(6): 589-595.
7. Brito FC, Brunetto DP, Nojima MC. Three-dimensional study of the upper airway in different skeletal Class II malocclusion patterns. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2019; 89(1): 93-101.

8. Yucel A, Unlu M, Haktanir A, Acar M, Fidan F. Evaluation of the upper airway cross-sectional area changes in different degrees of severity of obstructive sleep apnea syndrome: cephalometric and dynamic CT study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2005;26(10):2624-2629.

9. Faizal W, Ghazali NNN, Khor C, Badruddin IA, Zainon M, Yazid AA, et al. Computational fluid dynamics modelling of human upper airway: A

review. *J Appl Fluid Mech*. 2020;196:105627.

10. Iwasaki T, Saitoh I, Takemoto Y, Inada E, Kanomi R, Hayasaki H, et al. Evaluation of upper airway obstruction in Class II children with fluid-mechanical simulation. *J Biomech Eng*. 2011; 139(2): e135-e145.

11. Taylor M, Hans MG, Strohl KP, Nelson S, Holly Broadbent BJTAO. Soft tissue growth of the oropharynx. 1996; 66(5): 393-400.

Summary

UPPER AIRWAY CHARACTERISTICS IN PATIENTS WITH CLASS II SKELETAL MALOCCLUSION USING CONE BEAM COMPUTED TOMOGRAPHY AND COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC

This study investigated the upper airway characteristics in patient with class II skeletal using cone-beam computed tomography (CBCT). We used a cross-sectional descriptive study on CBCT scans of 124 participants by using STL file; dimensions, CMA, total volume, velocity and max pressure were calculated by CBCT and CFD softwares. The average value of the deviation between two jaws in this study group was 5.840. The overall upper airway volume in this group had an average of 21.05mm³, while the average smallest cross-sectional area (CMA) in this group was 180.07mm².

Keywords: Class II skeletal, Cone-beam computed tomography, Computed fluid dynamic (CFD).