

THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO NẸP CỔ TAY IN 3D

DESIGN AND FABRICATION OF 3D PRINTED WRIST SPLINT

Phạm Ngọc Tuấn, Lê Phương Duy, Trương Trần Bảo Huyền

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia TP.Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Hiện nay, công nghệ in 3D đang có những ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực y tế, đặc biệt là ngành y tế chỉnh hình. Bài báo được thực hiện dựa trên cơ sở các tài liệu đã được công bố trong và ngoài nước, tiến hành so sánh các giải pháp thu thập được, phân tích các yếu tố liên quan và đưa ra giải pháp phù hợp với điều kiện Việt Nam. Bài báo này đã đưa ra được quy trình thiết kế, chế tạo và chế tạo thành công mẫu sản phẩm nẹp cổ tay in 3D, phục vụ cho việc điều trị các bệnh lý về khớp cổ tay và hỗ trợ phục hồi chức năng. Mẫu sản phẩm chế tạo đạt được hầu hết các tiêu chí về khả năng đảm bảo chức năng cũng như các yếu tố sở cá nhân hoá của người dùng. Các quy trình đều hướng đến việc áp dụng thực tế và chi phí thấp.

Từ khoá: In 3D; Nẹp cổ tay; Chỉnh hình; Cơ - xương - khớp; Chế tạo cộng.

ABSTRACT

Currently, 3D printing technology has wide applications in the medical field, especially the orthopedic industry. This article is made on the basis of collecting and synthesizing foreign and domestic materials, comparing the collected solutions, analyzing domestic factors and the process of making solutions suitable to Vietnam's conditions. This article has outlined the process of designing, manufacturing a 3D printed wrist splint, serving the treatment of wrist joint diseases and supporting rehabilitation. The fabricated prototype meets most of the criteria in terms of functional assurance as well as user personalized factors. These processes are geared towards practical application and low cost.

Keywords: 3D printing; Wrist splint; Orthosis; Musculoskeletal; Additive manufacturing. 

1. GIỚI THIỆU

Mỗi năm, Công nghệ in 3D cung cấp ngày càng nhiều ứng dụng trong lĩnh vực chăm sóc sức khỏe và cải thiện cuộc sống theo những cách ngày càng mới. Đối với lĩnh vực y tế chỉnh hình, công nghệ in 3D có tiềm năng trong việc chế tạo nhanh chóng và hiệu quả dụng cụ chỉnh hình, đặc biệt là các dụng cụ chỉnh hình tùy chỉnh. Khi yêu cầu của công việc ngày càng cao và các bệnh lý về thần kinh ngày càng nhiều, các chứng bệnh như ống cổ tay, viêm khớp cổ tay ngày càng phổ biến, ảnh hưởng đến khoảng 1% dân số [1]. Trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu về việc chế tạo nẹp cổ tay cá nhân hoá dùng để hỗ trợ điều trị các chứng bệnh này sử dụng công nghệ in 3D, một số đã được thương mại hoá rộng rãi. Tại Việt Nam, các giải pháp về nẹp truyền thống và bó bột đang không thực sự hiệu quả vì sự khó chịu của người bệnh và có khả năng gây ra các biến chứng nguy hiểm. Một vài nghiên cứu ứng dụng in 3D trong chỉnh hình bước đầu tại Việt Nam đã được thực hiện, nhưng chưa được công bố rộng rãi. Nghiên cứu này nhằm mục đích đưa ra quy trình thiết kế, chế tạo và chế tạo thử nghiệm nẹp cổ tay in 3D với chi phí thấp. Các phần tiếp theo sẽ trình bày lần lượt phương pháp nghiên cứu, các kết quả đạt được và kết luận.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Các yêu cầu về nẹp cổ tay

Nẹp cổ tay truyền thống chủ yếu làm từ nhựa, da, vải, carbon. Tiêu chuẩn đánh giá nẹp cổ tay truyền thống dựa trên các tiêu chí [4]:

Thiết kế:

- Thiết kế cần đơn giản, đảm bảo khả năng sử dụng cho nhiều đối tượng, cả về giới tính và lứa tuổi, đạt được những nguyên tắc

thiết kế đảm bảo khả năng in 3D được thể hiện trong mục 2.4.

Kích thước:

- Nẹp chế tạo cần đảm bảo được thiết kế dựa trên kích thước tay bệnh nhân.

- Nẹp phải có khả năng điều chỉnh kích thước để đảm bảo có thể sử dụng trong trường hợp kích thước tay bệnh nhân thay đổi.

Cơ học:

- Nẹp phải có khả năng chịu lực, bao gồm lực do tay người sử dụng tác dụng lên nẹp trong quá trình đeo và ngoại lực tác dụng lên nẹp trong quá trình sinh hoạt của người sử dụng.

- Sản phẩm nẹp được chế tạo với khối lượng nhẹ, không gây khó khăn cho bệnh nhân trong quá trình sử dụng.

Công thái học:

- Nẹp cần đảm bảo các yêu cầu về cá nhân hoá, ví dụ như phải tránh các vùng áp lực hoặc các chấn thương khác của bệnh nhân.

- Khả năng tháo lắp nhanh, đơn giản.

- Bề mặt nẹp êm ái, không gây bức bối trong quá trình sử dụng.

Bảo trì:

- Các chi tiết của nẹp phải dễ dàng vệ sinh, làm sạch.

Lắp ráp:

- Nẹp được lắp ráp mà không cần dụng cụ hỗ trợ.

- Tối thiểu hoá các chi tiết của nẹp.

An toàn:

- Nẹp không có các vị trí sắc cạnh và các yếu tố nguy hiểm.

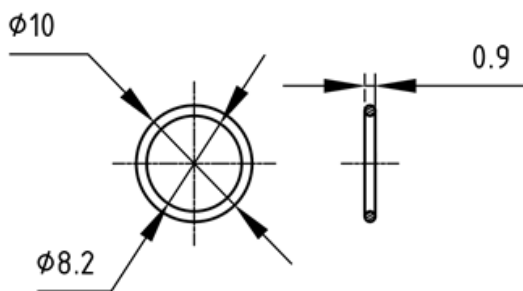
- Nẹp có khả năng chống va đập tốt ở trong điều kiện sinh hoạt hàng ngày của bệnh nhân.

- Vật liệu chế tạo an toàn cho da, an toàn cho sức khoẻ người sử dụng, không bị biến đổi tính chất trong điều kiện sinh hoạt hàng ngày.

2.2. Các yêu cầu về vật liệu

Trong các ứng dụng y sinh liên quan đến chỉnh hình và phục hình, polyme axit polylactic (PLA) được sử dụng phổ biến nhất do không thải ra khí độc trong quá trình nóng chảy, thân thiện với môi trường [5].

Vòng cao su silicone là loại vật liệu trợ về mặt sinh học, được áp dụng trong cấy ghép y khoa, vật liệu này có khả năng duy trì các tính chất vật lý cũng như hoá học trong điều kiện sinh hoạt bình thường.



Hình 1. Chi tiết vòng cao su silicone.

Vật liệu PLA [14] (Hình 11) có một số đặc tính như sau:

Material Properties

Model Reference	Properties	Components
	Name: PLA Model type: Linear Elastic Isotropic Default failure criterion: Max von Mises Stress Yield strength: 4.17e+06 N/m ² Tensile strength: 4.17e+07 N/m ² Elastic modulus: 3.726e+09 N/m ² Poisson's ratio: 0.394 Mass density: 1.250 kg/m ³ Shear modulus: 3.189e+08 N/m ²	SolidBody1 (Boss-Extrude10) (tam tren)
Curve Data: N/A		

Hình 2. Các thông số vật liệu được thể hiện trong Module mô phỏng của phần mềm SOLIDWORKS.

2.3. Các nguyên tắc thiết kế đảm bảo khả năng in 3D

Trước khi thiết kế nẹp cổ tay, cần xem xét khả năng in 3D sản phẩm này bằng cách xem xét các nguyên tắc sau đây [6]:

- Nguyên tắc 1: Lựa chọn hướng in phù hợp.
- Nguyên tắc 2: Giảm thiểu lượng vật liệu hỗ trợ.
- Nguyên tắc 3: Làm rỗng các chi tiết.
- Nguyên tắc 4: Lưu ý các đặc điểm chế tạo.
- Nguyên tắc 5: Tháo rời các chi tiết.
- Nguyên tắc 6: Giảm số lượng các chi tiết.
- Nguyên tắc 7: Đánh dấu để nhận dạng.
- Nguyên tắc 8: Tránh các yếu tố sắc cạnh.
- Nguyên tắc 9: Bo tròn các góc.
- Nguyên tắc 10: Hạn chế các phần nhô ra.

3. QUY TRÌNH THỰC HIỆN

3.1. Quy trình thiết kế

Quy trình thiết kế nẹp cổ tay in 3D được thể hiện trong Hình 3.

Nội dung cụ thể của mỗi bước như sau:

Bước 1: Xác định các dữ kiện đầu vào.

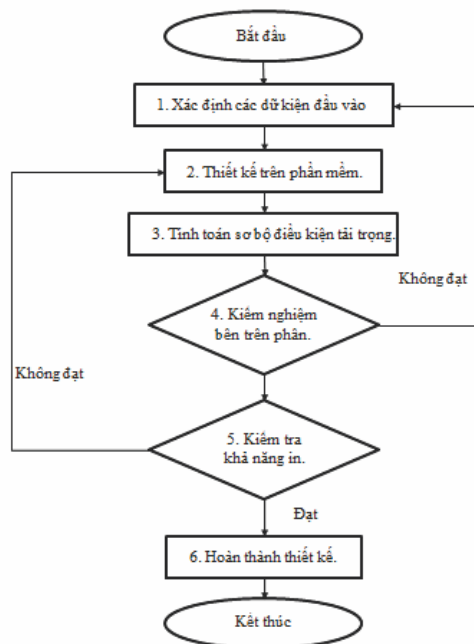
Về hình học, chiều dài nẹp từ cổ tay đến cẳng tay từ 150 – 200 mm là chiều dài giúp bệnh nhân cảm thấy thoải mái nhất, chiều dài từ cổ tay tới bàn tay khoảng 65 mm là chiều dài không làm ảnh hưởng đến chuyển động của bàn 

tay [2, 3]. Bề dày nẹp 4 mm được chọn dựa trên việc tham khảo các mẫu thiết kế của các nghiên cứu và các nhà cung cấp [8].

Về cơ học, tải trọng chính tác dụng lên nẹp là khối lượng bàn tay người sử dụng, có giá trị khoảng 0,41 kg đối với người trưởng thành [4], áp lực lớn nhất của tay bệnh nhân tác dụng lên nẹp trong các sinh hoạt bình thường như xách túi, đẩy ghế, mở cửa và cầm bút là khoảng 210 kPa [7].

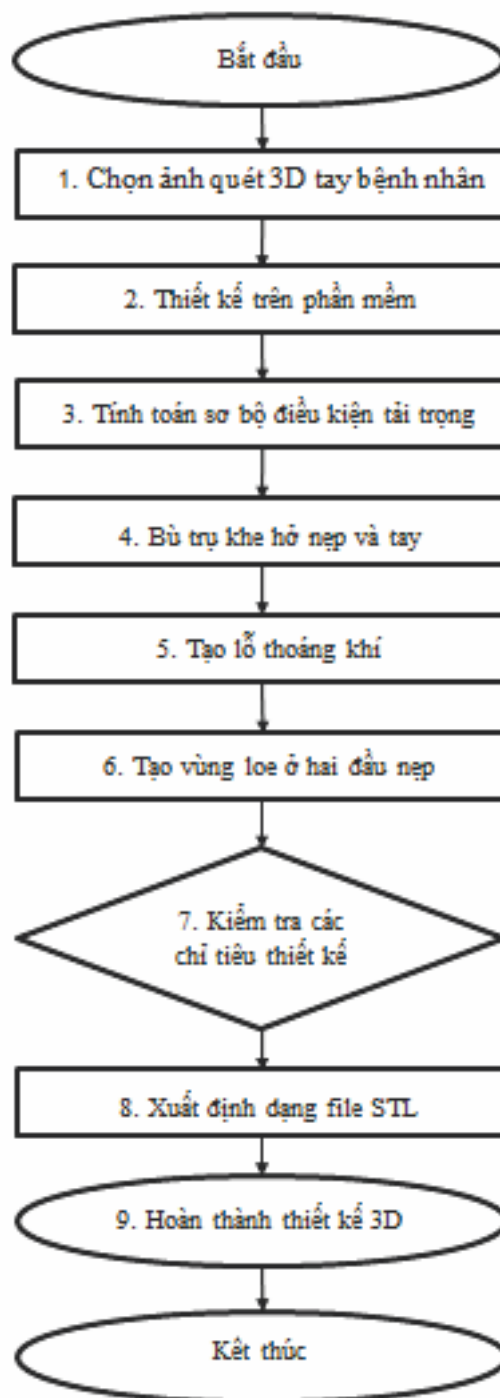
Về vật liệu, các thông số về nhựa PLA được đưa ra dựa trên thử nghiệm bền theo tiêu chuẩn ASTM D638 [11] trong điều kiện in 3D với tốc độ in $F_r = 50$ mm/s, bề dày lớp in $L_t = 0,18$ mm, hướng in thẳng đứng theo phương chiều dài nẹp bao gồm:

- Module đàn hồi: 3,726 GPa.
- Hệ số Poisson: 0,394.
- Khối lượng riêng: 1250 kg/m³.
- Giới hạn bền kéo: 4,17 MPa [14] .

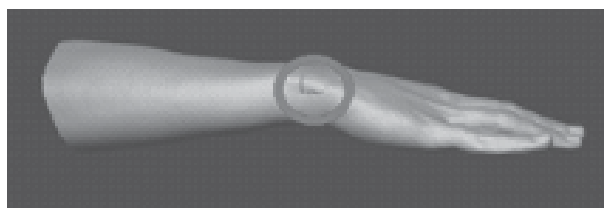


Hình 3. Quy trình thiết kế nẹp cổ tay in 3D.

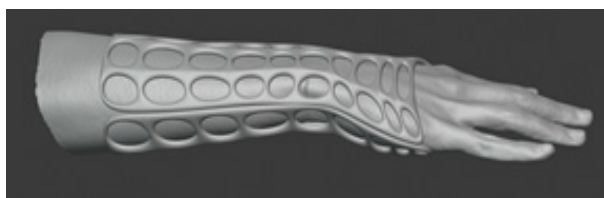
Bước 2: Thiết kế sản phẩm trên module mô phỏng của phần mềm SOLIDWORKS.



Hình 4. Quy trình thiết kế mô hình 3D cho nẹp cổ tay in 3D.



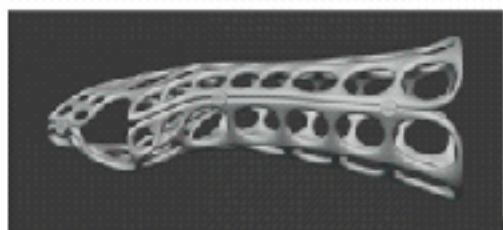
Hình 5. Đánh dấu vị trí đáng chú ý (mắt cá tay).



Hình 6. Thiết kế lỗ thoáng khí trùng với vị trí đã đánh dấu.



(1)



(2)

Hình 7. (1) Nẹp trước khi thực hiện bước 5.

(2) Nẹp sau khi thực hiện bước 5.

Bước 3: Tính toán sơ bộ điều kiện tải trọng

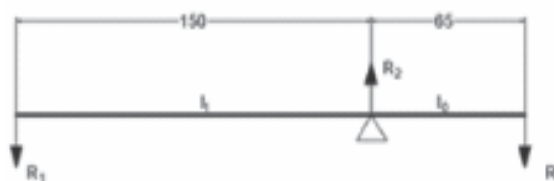
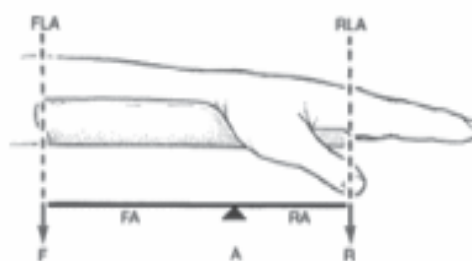
Quá trình tính toán sơ bộ dựa trên nguyên lý hệ thống áp lực ba điểm tác động của chi trên và các dữ kiện hình học đầu vào đã trình bày ở Bước 2 (Hình 8).

Lực do khối lượng bàn tay tác động lên nẹp với hệ số tải trọng 0,7:

$$R_0 = \frac{0,41 \times 9,81}{0,7} \approx 6(N)$$

Lực do căng tay tác động lên nẹp:

$$R_1 = \frac{R_0 \times l_0}{l_1} = \frac{6 \times 65}{150} = 2,6(N)$$



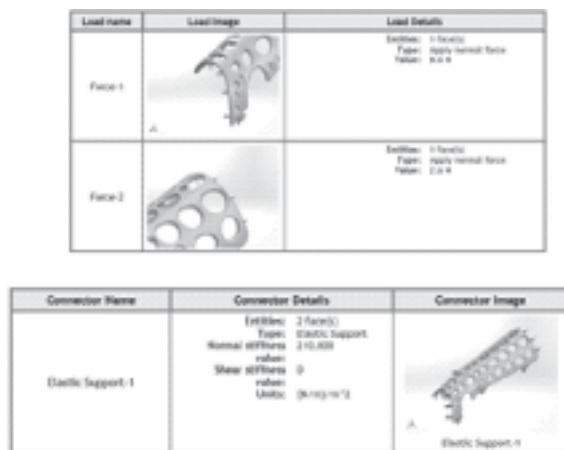
Hình 8. Nguyên lý hệ thống áp lực ba điểm tác động của chi trên.

Bước 4: Kiểm nghiệm bền trên module mô phỏng của phần mềm SOLIDWORKS.

Quá trình phân tích kiểm nghiệm bền dựa trên ba tiêu chí: ứng suất, chuyển vị và biến dạng.

Feature name	Feature Image	Feature Details		
Fluid-1		Entities: 6 face(s) Type: Fluid Geometry		
Resultant Forces				
Component	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(F)	-1,198N	5,114N	2,718N	6,518N
Reaction Moment(M, N.m)	0	0	0	0

Hình 9. Đặt điều kiện biên vào module mô phỏng của phần mềm SOLIDWORKS.



Hình 10. Dữ liệu điều kiện tải trọng module mô phỏng của phần mềm SOLIDWORKS.

Bước 5: Kiểm tra khả năng in 3D.

Mẫu thiết kế cần phải được kiểm tra khả năng in 3D thông qua một số phần mềm chuyên dụng, ví dụ như phần mềm Meshmixer của hãng Autodesk. Các lỗi có thể gặp như mô hình không kín, mô hình không có dạng khối [9].

3.2. Quy trình gia công sản phẩm

Quy trình gia công nẹp cổ tay in 3D được thể hiện trong hình 11.

Bước 1: Chọn công nghệ chế tạo.

Nẹp được chế tạo bằng công nghệ FFF được ứng dụng cho việc nghiên cứu bởi tính phổ biến và có khả năng sử dụng nhựa PLA.

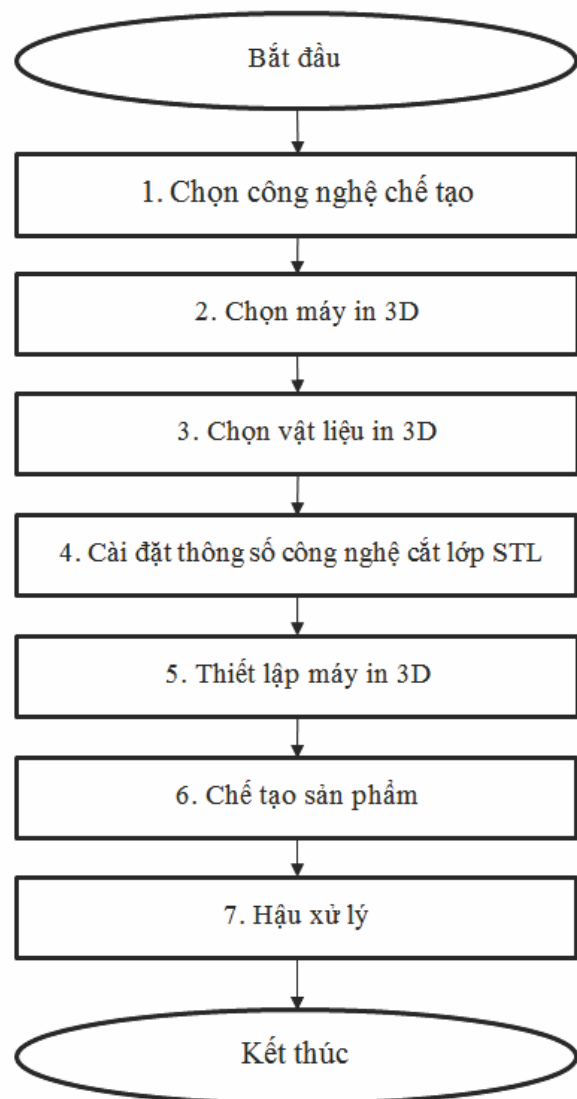
Bước 2: Chọn máy in 3D.

Máy in 3D được dùng là máy in 3D Marbox model REPBOX – 1E (Hình 14) đang được sử dụng tại Phòng Thí nghiệm in 3D, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, với các đặc

tính kỹ thuật như sau:

Thông số kỹ thuật:

- Kích thước làm việc: 300 x 300 x 350 mm;
- Số đầu đùn: 1;
- Tốc độ lớn nhất: 150 m/s;
- Nhiệt độ tối đa: 260 °C;
- Độ chính xác: 0,1 mm;
- Bề dày lớp in nhỏ nhất: 0,1 mm;
- Nguồn điện: 220 V.



Hình 11. Quy trình gia công nẹp cổ tay in 3D.



Hình 12. Máy in 3D Marbox model REPBOX – 1E.

Bước 3: Chọn vật liệu in 3D.

Các thông số cơ bản của nhựa PLA sử dụng:

- Màu sắc: hồng.
- Đường kính sợi nhựa: 1,75 mm.
- Khối lượng tịnh: 1 kg.
- Nhiệt độ nóng chảy: 190 – 220 °C.

Bước 4: Cài đặt thông số công nghệ, cắt lớp file STL.

Cài đặt các thông số cơ bản trong phần mềm Simplify3D [11]:

Layer height – chiều cao lớp nhựa in.

First layer height – chiều cao lớp nhựa in đầu tiên.

Perimeters – số lượng đường bao ngoài.

Bước 5: Chuẩn bị máy in 3D.

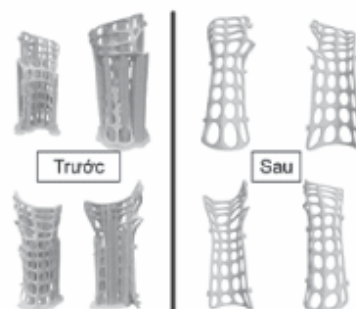
Cân chỉnh bàn máy bằng cách sử dụng thước nivo và điều chỉnh nhờ các đai ốc cánh chuồn, vệ sinh máy bàn in, phủ chất kết dính lên bàn in, vệ sinh đầu phun.

Bước 6: Gia công sản phẩm.

Sau khi đã thiết lập xong máy in 3D, dữ liệu G – code được chuyển vào máy in 3D bằng thẻ nhớ SD, quá trình in 3D được thực hiện hoàn toàn tự động.

Bước 7: Hậu xử lý.

Sản phẩm sau khi in 3D cần thực hiện hậu xử lý để loại bỏ các thành phần hỗ trợ và xử lý các vị trí lỗi sau quá trình in 3D, sau đó tiến hành xử lý bề mặt và vệ sinh sản phẩm trước khi đưa vào sử dụng (Hình 13).



Hình 13. Chi tiết tấm trên và tấm dưới trong quá trình hậu xử lý.

3.3. Quy trình lắp ráp

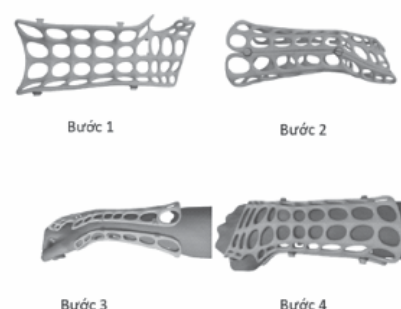
Quy trình tháo lắp nẹp cổ tay in 3D (Hình 14):

Bước 1: Đeo vòng cao su vào các nút cài ở tấm dưới.

Bước 2: Lắp 2 tấm nẹp tại các vị trí đã đeo vòng cao su.

Bước 3: Đeo nẹp vào tay.

Bước 4: Lắp vòng cao su lắp 2 tấm nẹp tại các vị trí còn lại.



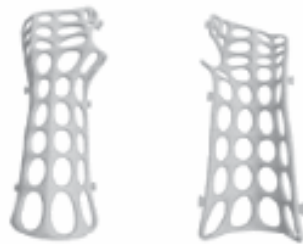
Hình 14. Quy trình tháo lắp nẹp cổ tay in 3D.

Lưu ý: Có thể điều chỉnh độ vờn trong quá trình sử dụng bằng cách thay đổi kích thước của các vòng cao su.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

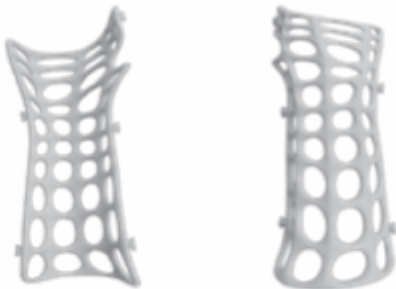
4.1. Kết quả sản phẩm

Chi tiết tấm dưới (Hình 15):



Hình 15. Chi tiết tấm dưới

Chi tiết tấm dưới (Hình 16):



Hình 16. Chi tiết tấm trên

Các đánh giá sơ bộ dựa trên yêu cầu kỹ thuật của nẹp cổ tay in 3D đã được đưa ra (Bảng 1).

Bảng 1. Bảng nhận xét sơ bộ mẫu nẹp cổ tay in 3D

STT	Tiêu chuẩn đánh giá	Yếu tố	Kết quả
1	Thiết kế	Đơn giản	Đạt
		Chế tạo hiệu quả	Đạt
		Đảm bảo khả năng in 3D	Đạt
		Có thể sử dụng cho nhiều đối tượng	Đạt
2	Kích thước	Đúng kích cỡ	Đạt
		Khả năng cá nhân hóa	Đạt
		Khả năng tùy chỉnh	Đạt
3	Cơ học	Khả năng chịu lực	Đạt
		Độ bền	Đạt
		Tối ưu hóa chức năng	Đạt
		Chống thấm, chống nước	Đạt
4	Công thái học	Dễ dàng tháo, lắp	Đạt
		Bề mặt êm ái	Đạt
5	Bảo trì	Dễ dàng làm sạch	Đạt
6	Lắp ráp	Không cần công cụ hỗ trợ	Đạt
		Tối thiểu các thành phần	Đạt
7	An toàn	Không có cạnh sắc nhọn hay các yếu tố nguy hiểm khác	Đạt
		Chống va đập	Đạt

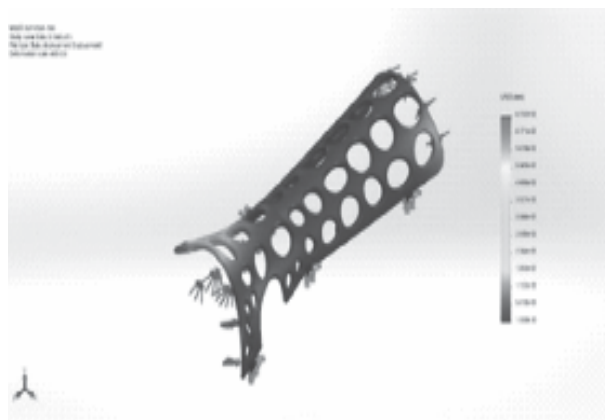
4.2. Kết quả phân tích

Kết quả quá trình phân tích, kiểm nghiệm bền của chi tiết tấm trên của nẹp cổ tay in 3D thông qua Solidworks Simulation 2019.



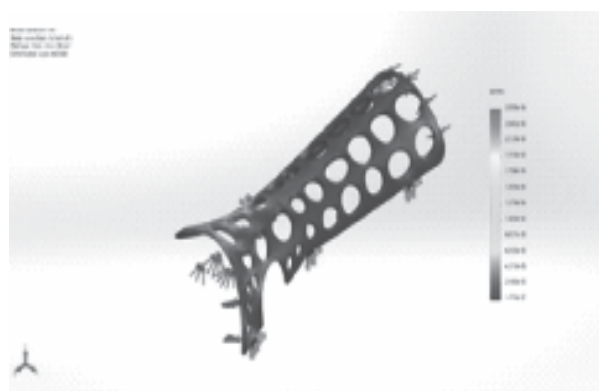
Hình 17. Kết quả quá trình kiểm nghiệm ứng suất

Ứng suất phân bố tương đối đều trên bề mặt chi tiết. Giá trị ứng suất tối đa ($1,977 \times 10^6$ N/m²) nhỏ hơn giá trị giới hạn đàn hồi của vật liệu nhựa ($4,17 \times 10^6$ N/m²). Chọn hệ số an toàn FS = 1,5 [6]. Quá trình kiểm nghiệm ứng suất đạt yêu cầu.



Hình 18. Kết quả kiểm nghiệm chuyển vị của chi tiết

Giá trị chuyển vị lớn nhất ($6,732 \times 10^{-2}$ mm) nằm trong khoảng cho phép, biến dạng tập trung chủ yếu vào vị trí không được bố trí nút cài liên kết.



Hình 19. Kết quả kiểm nghiệm biến dạng của chi tiết

Biến dạng tập trung chủ yếu ở khu vực chịu ảnh hưởng bởi vị trí không có bố trí nút cài liên kết, có thể xem xét bổ sung theo nút cài để đảm bảo an toàn cho nẹp.

5. KẾT LUẬN

Các giải pháp cho các bệnh lý về cổ tay hiện nay tại Việt Nam đang chưa thực sự hiệu quả vì sự khó chịu gây ra cho người bệnh khi sử dụng cũng như khả năng gây ra các biến chứng nguy hiểm. Nẹp cổ tay chế tạo bằng phương pháp in 3D đang được nghiên cứu và phát triển tại nhiều nơi trên thế giới như một giải pháp thay thế tốt hơn. Các quy trình thiết kế, chế tạo nẹp cổ tay in 3D đã được đưa ra dựa trên việc tham khảo, đánh giá, phân tích các nghiên cứu và các mẫu sản phẩm đã được thương mại hoá. Mẫu nẹp cổ tay in 3D đã được chế tạo hoàn chỉnh và cho thấy khả năng đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật, yêu cầu chức năng và các yếu tố cá nhân hoá tốt. Trong giai đoạn tiếp theo, sẽ có những nghiên cứu sâu hơn về một số vấn đề như vật liệu, các tiêu chuẩn thiết kế, chế tạo, kiểm nghiệm, vận hành và an toàn, các vấn đề về khả năng công nghệ của máy móc cũng cần được quan tâm.



6. LỜI CẢM ƠN

Xin cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: **04/11/2022**

Ngày phản biện: **18/11/2022**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Apostolos Kontzias (2017), *Rheumatoid Arthritis (RA)*, Stony Brook University School of Medicine.
- [2]. Bộ Y Tế (2014); *Kỹ thuật sử dụng nẹp cổ bàn tay (WHO)*, Kỹ thuật phục hồi chức năng.
- [3]. Bộ Y Tế (2019); *Kỹ thuật làm nẹp dưới khuỷu tay (WHO) không khớp, Kỹ thuật phục hồi chức năng*.
- [4]. Elaine Ewing Fess, Karan S. Gettle, ... J. Robin Janson (2004), *Hand and Upper Extremity Splinting - Principles & Methods 3rd Edition*, Mosby.
- [5]. Roxana Miclaus, Angela Repanovici, Nadinne Roman (2017), *Biomaterials: Polylactic Acid and 3D Printing Processes for Orthosis and Prosthesis*.
- [6]. Booth, J. W., Alperovich, J., Chawla, P., Ma, J., Reid, T. N., & Ramani, K. (2017). *The Design for Additive Manufacturing Worksheet*, Journal of Mechanical Design.
- [7]. Kelly S. (2010), *The Design of a Wrist Splint for Manufacture using Rapid Prototyping Techniques*, Dublin City University.
- [8]. Royeen L. (2015). *The Style Evolution of Glasses: Acknowledging Well-being for Wearable Medical Device*, The Open Journal of Occupational Therapy.
- [9]. Nabaa A. A., Basim A. S., Bashar O.(2020), *Hand Bone Orthosis Manufacturing Using 3D Printing Technology*. Journal of Engineering and Sustainable Development.
- [10]. D790, (2010), *ASTM standard test method for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials*. Annual book of ASTM standards 10.
- [11]. Chacón, J. M., Caminero, M. A., García-Plaza, E., & Núñez, P. J. (2017). *Additive manufacturing of PLA structures using fused deposition modelling*, Effect of process parameters on mechanical properties and their optimal selection.