

THIẾT KẾ, CHẾ TẠO GĂNG TAY HỖ TRỢ PHỤC HỒI CHỨC NĂNG CHO NGƯỜI KHUYẾT TẬT SỬ DỤNG CÁC NGÓN MỀM

Trịnh Xuân Hiệp¹, Mai Văn Linh², Trịnh Văn Đức², Phùng Văn Bình^{2*}

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn

²Khoa Hàng không vũ trụ, Trường Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn

Tóm tắt

Bài báo trình bày quy trình thiết kế, chế tạo một găng tay với mục đích tập co bóp phục hồi chức năng và hỗ trợ thao tác cầm nắm vật cho người bị khuyết tật vận động ở bàn tay, sử dụng các ngón mềm. Các ngón mềm có cấu trúc dạng composite nền silicone. Một chương trình tính toán tự động được xây dựng trên ngôn ngữ Python tích hợp với phần mềm Abaqus/CAE cho phép khảo sát đồng thời nhiều tham số của các ngón mềm, nhằm đưa ra bộ thông số thiết kế hợp lý của găng tay. Thử nghiệm cho thấy sai số giữa biến dạng của ngón tay theo thực nghiệm và mô phỏng nhỏ hơn 7,8% và các ngón mềm ôm sát được các ngón tay người. Trên cơ sở đó, một găng tay mềm đã được chế tạo. Những thử nghiệm ban đầu cho thấy găng tay mềm có thể giúp người bệnh tập luyện phục hồi với nhiều chế độ khác nhau cũng như hỗ trợ người bệnh trong các thao tác đơn giản như cầm nắm với vật có khối lượng khoảng 600 gram.

Từ khóa: Ngón mềm có sợi gia cường; găng tay rô bốt mềm; chương trình tính toán tự động; tích hợp Python trong Abaqus; phục hồi chức năng bàn tay.

1. Giới thiệu

Hiện nay, theo số liệu thống kê của Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), đột quỵ khiến cho 6,2 triệu người chết mỗi năm, nhiều hơn tổng số người chết vì AIDS, lao và sốt rét. Tại Việt Nam, theo ước tính mỗi năm có khoảng 200.000 người bị đột quỵ, trung bình cứ 6 người thì có một người có nguy cơ đột quỵ [1]. Bên cạnh ảnh hưởng đến tính mạng của nạn nhân, đột quỵ còn để lại những hệ quả nghiêm trọng, gây ra khuyết tật lâu dài như liệt nửa người, suy giảm chức năng vận động của các chi, trong đó có bàn tay và các ngón tay [2, 3]. Bên cạnh đột quỵ, các bệnh về xương khớp, các chấn thương khác ảnh hưởng tới hệ thần kinh như chấn thương não, tủy sống, chấn thương hệ thần kinh cánh tay, thần kinh cảm giác cũng làm cho bệnh nhân bị mất kiểm soát chân tay hoặc các cơ khác trong cơ thể, đặc biệt là bàn tay, một trong những bộ phận quan trọng nhất của con người. Bàn tay có chức năng cầm nắm, để thực hiện hầu hết mọi công việc

* Email: phungvanbinh@lqdtu.edu.vn

DOI: 10.56651/lqdtu.jst.v19.n01.640

thường ngày, do đó mất hoặc suy giảm các chức năng của bàn tay ảnh hưởng rất lớn tới chất lượng cuộc sống của bệnh nhân. Bên cạnh phẫu thuật thì tập luyện phục hồi chức năng của bàn tay sẽ tác dụng tích cực, giúp cải thiện chất lượng cuộc sống của họ [4]. Cụ thể, đó là các bài tập sinh hoạt hàng ngày như mở và nắm bàn tay, cầm nắm các đồ vật khác nhau, tác động lên bàn tay và các ngón tay để kích thích hệ cơ và hệ thần kinh để chúng trở nên linh hoạt hơn, từ đó cải thiện và phục hồi chức năng [5, 6]. Tuy nhiên, việc tập luyện phục hồi chức năng cần một quá trình lặp đi lặp lại, đòi hỏi phải có sự trợ giúp của đội ngũ y tế lâu dài, có thể dẫn đến thiếu hụt lực lượng trong các cơ sở y tế.

Do đó, việc nghiên cứu phát triển các thiết bị hỗ trợ và phục hồi chức năng nói chung và bàn tay nói riêng cho các bệnh nhân bị ảnh hưởng bởi các bệnh liên quan đến thần kinh và người già có ý nghĩa kinh tế và xã hội to lớn, đã và đang nhận được sự quan tâm đặc biệt của các nhà khoa học, đặc biệt là tại các nước có nền khoa học tiên tiến. Trong đó, găng tay phục hồi chức năng cho bàn tay được cho là có nhiều ưu điểm. Thực tế trên thế giới, ở các nước có nền khoa học kỹ thuật phát triển, các nhà khoa học tại các viện nghiên cứu và trường đại học lớn đang rất quan tâm nghiên cứu phát triển các găng tay phục hồi chức năng và đã công bố trên các tạp chí khoa học uy tín [7, 8]. Các bàn tay phục hồi chức năng này thường sử dụng các ngón mềm để phục hồi chuyển động của các ngón tay người bệnh, nhờ những ưu điểm vượt trội của các ngón mềm như có thể kích hoạt với nhiều chế độ hỗ trợ khác nhau thông qua điều khiển mức áp suất khí nén, tương tác an toàn với bàn tay người bệnh do tính biến dạng linh hoạt của vật liệu mềm. Các găng tay trong các công bố này đều sử dụng vật liệu và phương pháp chế tạo phức tạp, đòi hỏi kinh phí lớn. Ngoài ra, mô hình hóa biến dạng của các ngón mềm là yêu cầu rất cần thiết để có thể đưa ra các thông số thiết kế phù hợp cho các găng tay phục hồi. Tuy nhiên, đây là vấn đề phức tạp do đặc tính phi tuyến vật lý của vật liệu mềm và phi tuyến hình học của biến dạng lớn. Trong các công bố trước đây, các nhà nghiên cứu nỗ lực đưa ra các mô hình toán để mô tả biến dạng của ngón mềm dựa trên các giả thiết tính toán khác nhau, hoặc sử dụng các công cụ mô phỏng bằng các phần mềm thương mại [9, 10]. Các cách tiếp cận này có nhược điểm là các mô hình toán phức tạp nhưng lại chỉ đúng cho từng trường hợp thiết kế cụ thể, hay các mô phỏng rất tốn kém về mặt thời gian và tài nguyên máy tính. Do đó, việc đưa ra một cách tiếp cận khác để khảo sát ảnh hưởng của nhiều tham số thiết kế, để đưa ra bộ tham số phù hợp là một nhiệm vụ có ý nghĩa.

Để khắc phục những vấn đề trên, trong bài báo này các tác giả đề xuất quá trình thiết kế phát triển một phiên bản mới cho găng tay hỗ trợ phục hồi chức năng cho người khuyết tật sử dụng các ngón mềm. Phương pháp chế tạo các ngón mềm được giới thiệu,

sử dụng các loại vật liệu với chi phí và công nghệ đơn giản, sẵn có ở Việt Nam. Một phương pháp mô phỏng tích hợp lập trình Python với hạt nhân tính toán của Abaqus được đề xuất để có thể rút ngắn thời gian mô phỏng, khảo sát nhanh biến dạng của các ngón mềm với các tham số thiết kế khác nhau, từ đó đưa ra được thiết kế phù hợp cho từng ngón mềm. Bộ điều khiển găng tay được xây dựng cho phép người bệnh có thể tập phục hồi với nhiều chế độ khác nhau. Bên cạnh đó, khả năng hỗ trợ cầm nắm của găng tay cũng được khảo sát.

2. Thiết kế găng tay với các ngón mềm

Găng tay mềm bao gồm khung găng tay bằng loại vải thích hợp, có thể đeo được vào cổ tay để giữ chặt găng tay với cánh tay. Các bộ chấp hành đóng vai trò như các ngón tay được chế tạo bằng vật liệu mềm, có các lớp gia cường để tăng độ cứng. Các ngón mềm này được thiết kế để cố định với khung găng tay và có kết cấu, chiều dài, kích thước phù hợp với từng ngón tay của người đeo, kích hoạt dựa trên khí nén thông qua hệ thống dây dẫn khí nén được cố định với khung găng tay. Găng tay phải đảm bảo thuận tiện, thoải mái cho người dùng, khối lượng nhẹ (nhỏ hơn 350 gram). Các ngón tay có thể thực hiện các cử động theo ba bậc tự do, giống như cử động của ba đốt tay người bình thường. Tần số đóng mở của các ngón tay có thể điều chỉnh được, dải lực hỗ trợ phù hợp để thực hiện được các công việc cầm nắm đơn giản hàng ngày với giả thiết các vật cầm nắm có khối lượng không quá 500 gram.

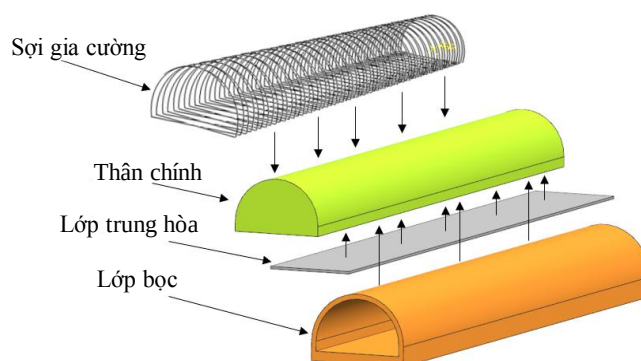
Để thực hiện được mục tiêu đó, trước hết 5 mẫu ngón mềm đã được thiết kế tương ứng với 5 ngón tay của bàn tay người trưởng thành.

2.1. Thiết kế các ngón mềm

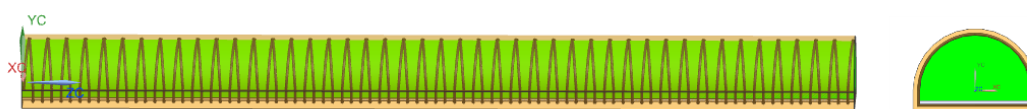
Mục này sẽ tập trung vào việc thiết kế, tính toán, mô phỏng các ngón mềm có kết cấu kiểu composite với sợi gia cường và lớp trung hòa. Để đơn giản quá trình thiết kế, chế tạo, các ngón tay được phân thành 3 loại, tương ứng với ngón cái, 3 ngón tay giữa và ngón út, trong đó 3 ngón mềm giữa có tham số giống hệt nhau. Chiều dài của 3 ngón tay giữa là 160 mm, còn chiều dài của ngón cái và út bằng nhau là 140 mm.

Cấu tạo của mỗi ngón tay được đề xuất dựa trên kết cấu phổ biến của các bộ kích hoạt mềm dạng composite [7, 11], có thể được tóm tắt như sau: Các thành phần bao gồm thân chính, lớp trung hòa, sợi gia cường, lớp bọc (Hình 1). Trong đó, thân chính được chế tạo từ silicone RTV 230. Bên trong thân chính của ngón tay có khoang dẫn khí thiết diện hình bán nguyệt, một đầu được bịt kín và một đầu nối với ống dẫn khí nén. Lớp trung hòa được gắn ở đáy của từng ngón mềm, được chế tạo từ vải sợi thủy tinh (woven fiberglass) có độ dày 0,2 mm. Lớp trung hòa được thiết kế thành các đoạn sao cho ngón mềm khi biến dạng dưới tác dụng của áp suất khí nén sẽ hình thành các khúc

phù hợp với các đốt của ngón tay người. Độ dài các đoạn của lớp trung hòa được lựa chọn phù hợp sao cho các ngón tay có thể chuyển động thoải mái. Tiếp theo là sợi gia cường với tiết diện có đường kính 0,5 mm được cuốn xung quanh lớp thân chính và lớp trung hòa với góc xoắn là khoảng 4° . Lớp bọc cũng được chế tạo từ silicone RTV 230 để bọc bên ngoài thân chính với sợi gia cường và lớp trung hòa, tạo thành một ngón mềm hoàn chỉnh (Hình 2).



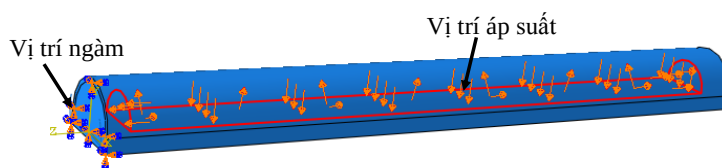
Hình 1. Các thành phần của ngón mềm.



Hình 2. Mô hình ngón mềm với sợi gia cường.

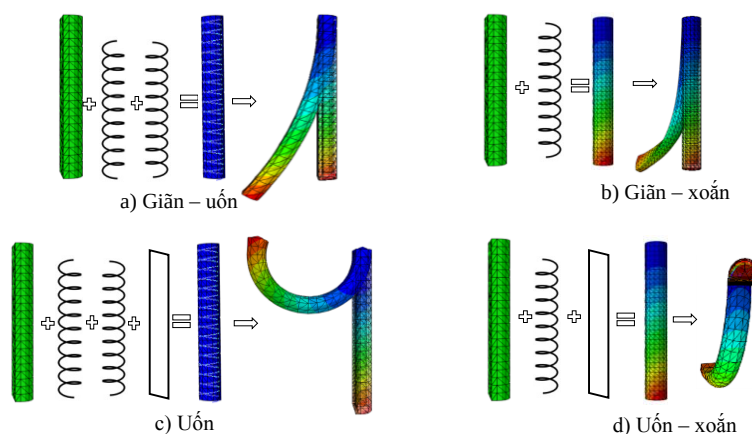
2.2. Mô phỏng các ngón mềm

Quan hệ giữa áp suất và biến dạng của ngón mềm được mô phỏng nhờ phương pháp phần tử hữu hạn (FEM). Vật liệu silicone RTV 230 để chế tạo thân chính và lớp bọc bên ngoài ngón mềm là dạng vật liệu siêu đàn hồi, đẳng hướng với khối lượng riêng là 1140 kg/m^3 . Vật liệu này được mô phỏng dựa trên mô hình Yeoh với các hệ số $C_{10} = 0,17969929$; $C_{20} = 0,0277$ và $C_{30} = -0,000639$ [12]. Thân chính ngón tay được chia lưới sử dụng phần tử tứ diện (Tetrahedral). Lớp trung hòa sử dụng vật liệu vải với các thông số cơ bản: độ dày 0,2 mm, khối lượng riêng 750 kg/m^3 , mô đun đàn hồi $E = 6500 \text{ MPa}$, hệ số Poisson 0,2. Sợi gia cường là sợi dây chỉ với khối lượng riêng 1201 kg/m^3 , tiết diện dây có đường kính 0,5 mm, mô đun đàn hồi $E = 31076 \text{ MPa}$, hệ số Poisson 0,36. Một đầu ngón mềm được cố định (dạng ngàm), đầu còn lại để tự do theo kiểu dầm công-xôn (Hình 3). Tác dụng của khí nén bên trong khoang ngón mềm được mô hình hóa bởi áp suất phân bố đều, giá trị tăng dần đến 410 kPa .



Hình 3. Điều kiện biên và tải trọng của ngón mềm.

Để có thể khảo sát ảnh hưởng của các tham số thiết kế tới biến dạng của ngón mềm, từ đó đưa ra bộ thông số thiết kế phù hợp với từng ngón tay, một chương trình tự động tính toán biến dạng cho ngón mềm sẽ được xây dựng. Chương trình tự động tính toán ngón mềm được xây dựng ở dạng Script file được thiết lập trên ngôn ngữ Python tích hợp với bộ xử lý trên phần mềm Abaqus/CAE. Chương trình tự động này sẽ tích hợp vào hạt nhân tính toán của Abaqus để quá trình mô phỏng biến dạng các phương án thiết kế khác nhau sẽ được tiến hành hoàn toàn tự động. Cách xây dựng chương trình tự động tính toán này đã được nhóm tác giả mô tả chi tiết trong công trình [13]. Theo cách tiếp cận này, quá trình tính toán được diễn ra một cách liên tục và tự động. Nhờ đó, thời gian tiền xử lý và hậu xử lý đã được rút ngắn tối đa. Thời gian tính toán khảo sát mỗi phương án trung bình đã giảm từ khoảng 60 phút còn khoảng 10 phút. Cụ thể, quá trình tự động hóa tính toán bằng phương pháp đề xuất được thể hiện qua video theo đường dẫn sau: <https://www.youtube.com/watch?v=jGLNdUApgeE&list=PLaIk4USiExdT0sYSQaZmnrO1zzzU3WkCk&index=10>



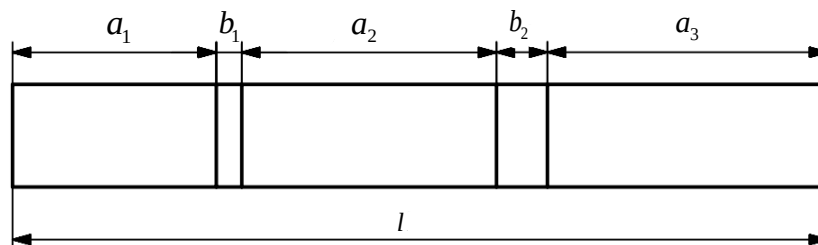
Hình 4. Biến dạng của ngón mềm tương ứng với các cấu hình khác nhau (với $P = 250 \text{ kPa}$).

Do các ngón tay cái, giữa, út có kích thước và cách thức hoạt động khác nhau nên các cấu hình ngón mềm khác nhau sẽ được khảo sát để tìm ra phương án có sự biến dạng phù hợp với chúng. Kết cấu các ngón mềm được thay đổi tương ứng với sự thay đổi của sợi gia cường và lớp trung hòa. Kết quả mô phỏng cho thấy, với cùng một mức áp suất, việc sử dụng hai sợi gia cường cuộn theo hai hướng ngược nhau sẽ tạo cho

ngón mềm biến dạng giãn dài-uốn (Hình 4a); trong trường hợp sử dụng một sợi gia cường cuộn theo một hướng thì sẽ tạo cho ngón mềm biến dạng giãn-xoắn (Hình 4b); việc sử dụng hai sợi gia cường cuộn theo hai hướng ngược nhau kết hợp với lớp vải trung hòa sẽ tạo cho ngón mềm biến dạng uốn (Hình 4c); còn trong trường hợp kết hợp một sợi gia cường với lớp vải trung hòa thì sẽ tạo cho ngón mềm biến dạng uốn-xoắn (Hình 4d).

2.3. Lựa chọn phương án thiết kế các ngón mềm của găng tay

Dựa trên cơ sở kết quả khảo sát và chương trình tính toán tự động ở mục 2.2, các tham số kích thước của lớp trung hòa, tương ứng với kích thước các đốt của ngón mềm phù hợp (Hình 5 và 6) đảm bảo cho các đốt ngón mềm bám sát các đốt ngón tay người đã được lựa chọn như thể hiện trên bảng 1. Kết cấu của các ngón mềm và kết quả tính toán mô phỏng biến dạng của ngón giữa, ngón út và ngón cái được minh họa tương ứng trên các hình 7-9. Đặc biệt, để tạo độ cong phù hợp, ở ngón tay cái chỉ có một sợi gia cường được cuộn theo một hướng xoắn ở đoạn a_3 và a_2 .



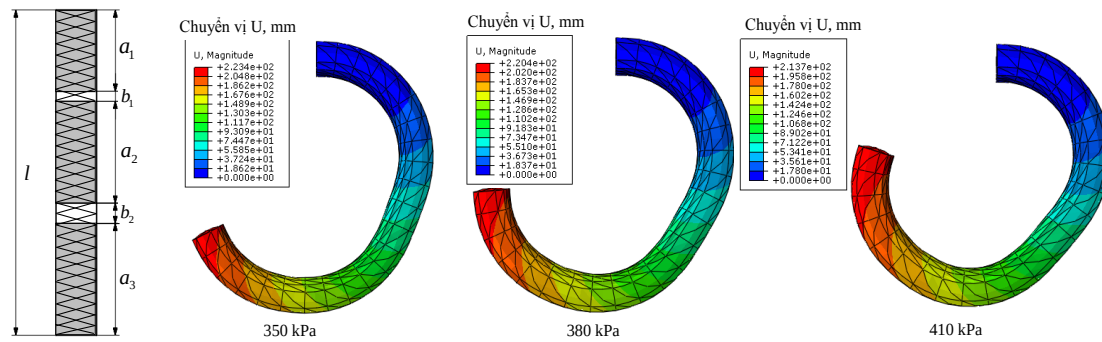
Hình 5. Kích thước lớp trung hòa.



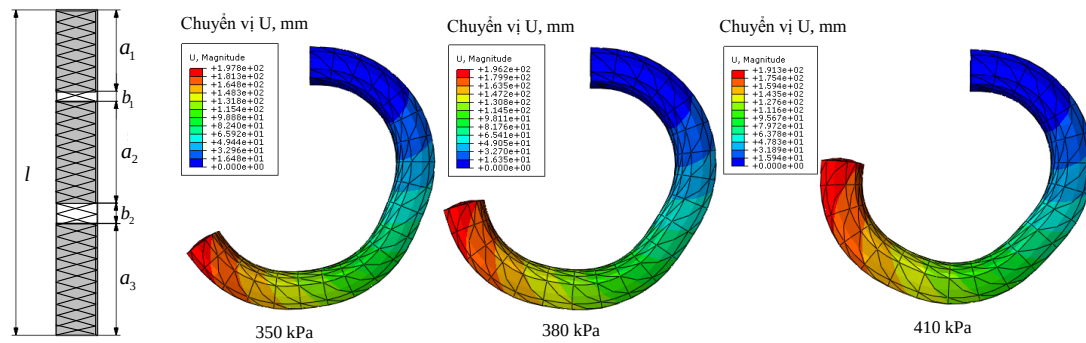
Hình 6. Ngón tay người gấp khúc khi cầm nắm vật.

Bảng 1. Bảng thông số các lớp trung hòa và khoảng cách các lớp giữa chúng

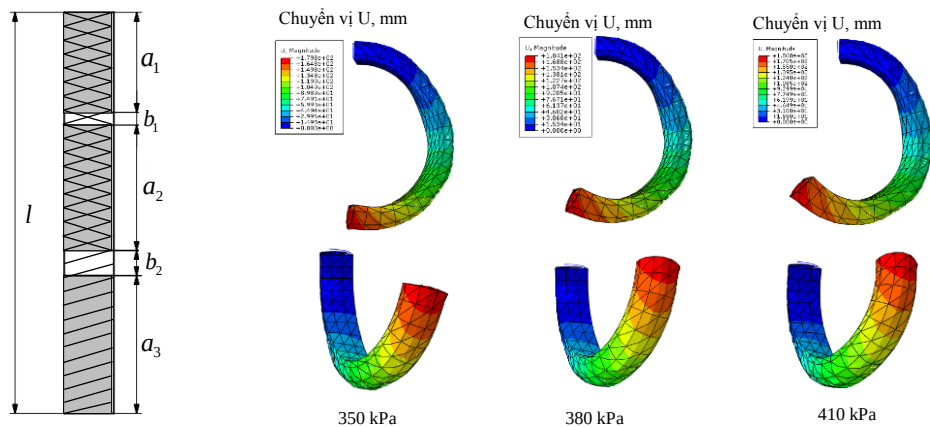
Thông số Ngón	l (mm)	a_1 (mm)	a_2 (mm)	a_3 (mm)	b_1 (mm)	b_2 (mm)
Ba ngón giữa	160	35	40	65	5	15
Ngón cái	140	40	40	40	5	15
Ngón út	140	35	30	60	5	10



Hình 7. Kết cấu và kết quả mô phỏng biến dạng của ngón giữa.

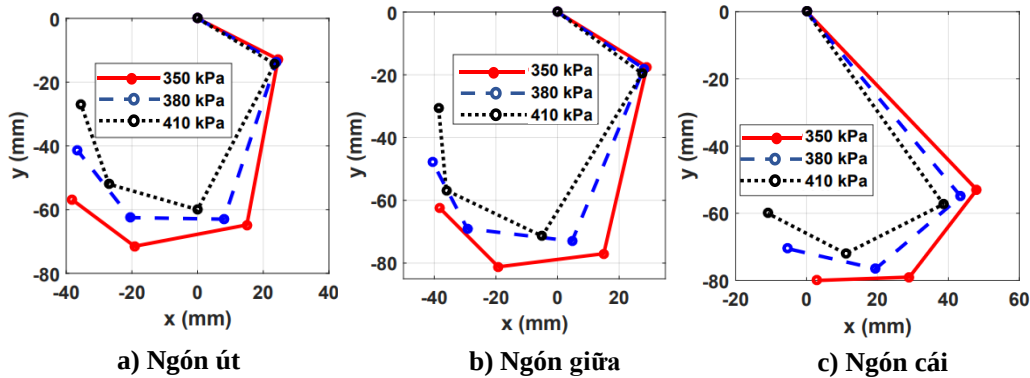


Hình 8. Kết cấu và kết quả mô phỏng biến dạng của ngón út.



Hình 9. Kết cấu và kết quả mô phỏng biến dạng của ngón cái.

Để minh họa rõ hơn sự phù hợp về độ cong của ngón mềm bám sát ngón tay người thực tế, các điểm tại vị trí gấp khúc (ở mặt đáy) của ngón mềm đã được nối với nhau như được minh họa trên hình 10. Kết quả khảo sát với ba mức áp suất khác nhau (350 kPa, 380 kPa, 410 kPa) cho thấy kích thước ngón mềm được lựa chọn là hợp lý và tương thích với ngón tay người thực tế.



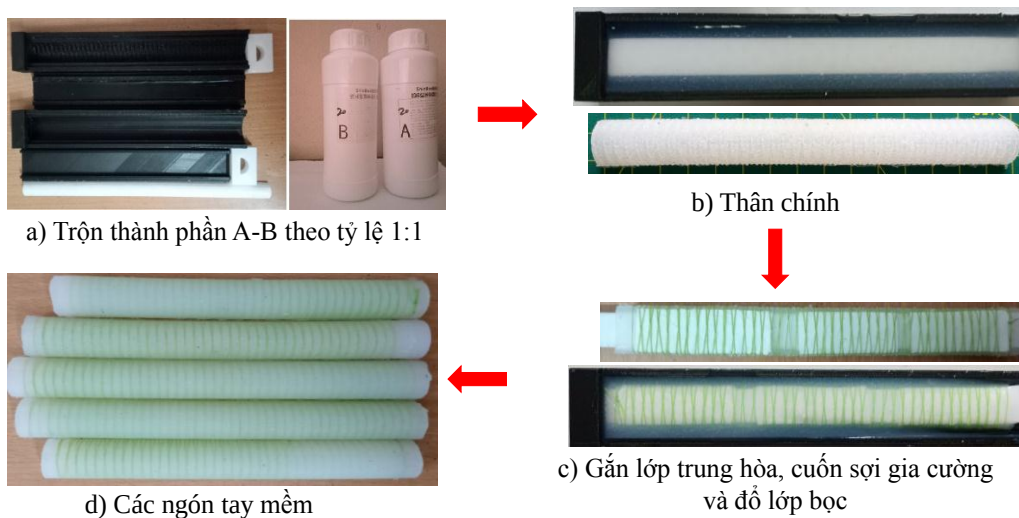
Hình 10. Các ngón mềm tạo ra sự gấp khúc tương ứng với các mức áp suất khác nhau
(a) Ngón út; (b) Ngón giữa; (c) Ngón cái.

3. Chế tạo và thực nghiệm găng tay với các ngón mềm

3.1. Chế tạo, thực nghiệm các ngón mềm

3.1.1. Chế tạo ngón mềm

Các ngón mềm được chế tạo bằng phương pháp đúc. Vật liệu sử dụng để đúc các ngón là silicone RTV 230 (Hình 11a). Khuôn đúc được chế tạo nhờ phương pháp in 3D. Khuôn gồm hai phần chính là khuôn đúc thân chính và khuôn để đúc lớp bọc.

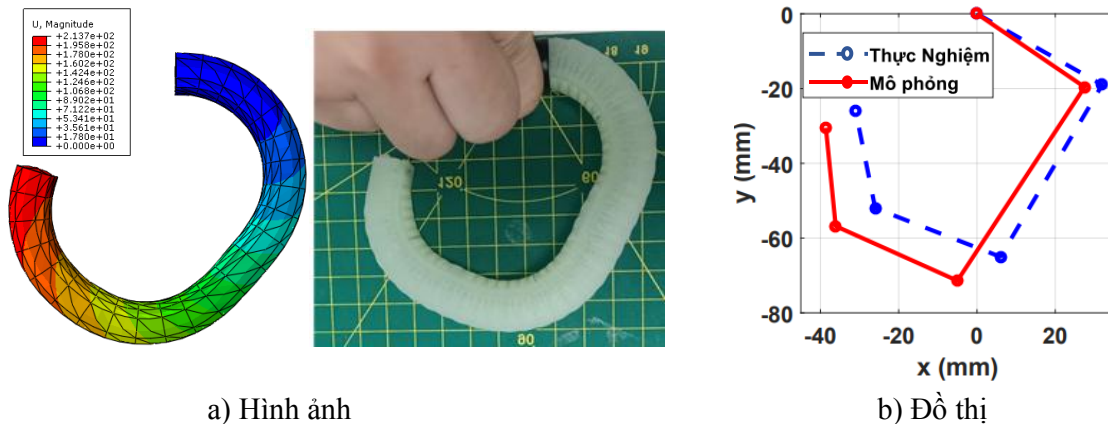


Hình 11. Quá trình chế tạo các ngón mềm.

Quy trình chế tạo ngón mềm như sau: Trộn đều thành phần A-B của silicone theo tỉ lệ 1:1, sau đó đổ vào khuôn đúc thân chính, đợi silicone khô thu được thân chính ngón tay (Hình 11b). Tiếp theo, cắt lớp trung hòa gắn lên đáy của thân chính rồi cuộn sợi gia cường đều xung quanh ngón và chế tạo lớp bọc (sử dụng khuôn đúc của lớp bọc) để bọc vào thân chính (Hình 11c). Cuối cùng, sử dụng silicone bọc hai đầu của ngón mềm để thu được ngón mềm hoàn chỉnh (Hình 13d). Các ngón mềm được chế tạo hoàn chỉnh với thời gian 4 giờ và chi phí dưới 300.000 đồng cho một ngón. Do đó, đảm bảo tính kinh tế và khả thi trong điều kiện tại Việt Nam.

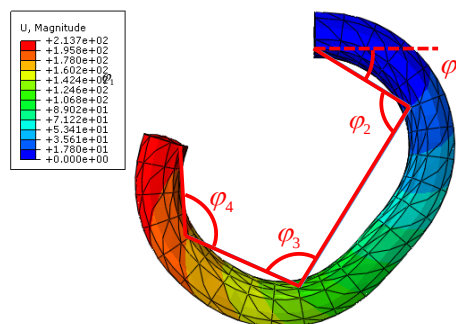
3.1.2. Thực nghiệm các ngón mềm

Để đánh giá khả năng đáp ứng về biến dạng của các ngón mềm đã được đặt ra trong yêu cầu thiết kế của găng tay hỗ trợ, tiến hành thực nghiệm khả năng biến dạng của từng ngón với các mức áp suất khác nhau tăng dần đến 410 kPa. Sự tương đồng giữa kết quả mô phỏng và thực nghiệm được thể hiện trên hình 12.



Hình 12. Độ gấp khúc của ngón giữa theo mô phỏng và thực nghiệm (410 kPa).

Về mặt định lượng, biến dạng của các ngón mềm được đánh giá thông qua các góc mở quy ước độ cong của các ngón mềm như hình 13. Kết quả so sánh giữa mô phỏng và thực nghiệm được tóm tắt trong các bảng 2 và 3.



Hình 13. Các góc quy ước độ gấp khúc của ngón mềm.

Kết quả so sánh được thể hiện trên các bảng 2 và 3 cho thấy, độ sai lệch các góc quy ước φ_i của ngón giữa theo kết quả thực nghiệm và mô phỏng là không lớn, trung bình khoảng từ 1,6 đến 7,8%, điều này khẳng định tính tin cậy của các kết quả thu được. Các góc mở quy ước thu được từ kết quả thực nghiệm và mô phỏng phù hợp với các thao tác cử động thông thường của các ngón tay người, do đó thiết kế các ngón tay là hợp lý.

Bảng 2. So sánh độ sai lệch các góc quy ước φ_i của ngón giữa với các mức áp suất khác nhau

Ký hiệu góc	φ_1			φ_2			φ_3			φ_4		
	3350 kPa	3380 kPa	3410 kPa	3350 kPa	3380 kPa	3410 kPa	3350 kPa	3380 kPa	3410 kPa	3350 kPa	3380 kPa	3410 kPa
Mô phỏng (°)	26	28	30	103	95	88	110	105	98	129	125	98
Thực nghiệm (°)	28	26	29	110	98	90	100	103	98	139	123	98
Sai lệch (%)	7,6	7,1	3,3	6,8	3,1	2,3	9,0	1,9	0,0	7,8	1,6	0,0

Bảng 3. So sánh độ sai lệch các góc quy ước φ_i của ngón cái với các mức áp suất khác nhau

Ký hiệu góc	φ_1			φ_2			φ_3			φ_4		
	3350 kPa	3380 kPa	3410 kPa	3350 kPa	3380 kPa	3410 kPa	3350 kPa	3380 kPa	3410 kPa	3350 kPa	3380 kPa	3410 kPa
Mô phỏng (°)	48	52	56	103	95	88	130	125	120	17	20	24
Thực nghiệm (°)	52	55	60	104	98	92	128	126	121	18	21	25
Sai lệch (%)	8,3	5,8	7,1	0,9	3,1	4,5	1,5	0,8	0,8	5,9	5,0	4,2

3.2. Điều khiển găng tay với các ngón mềm

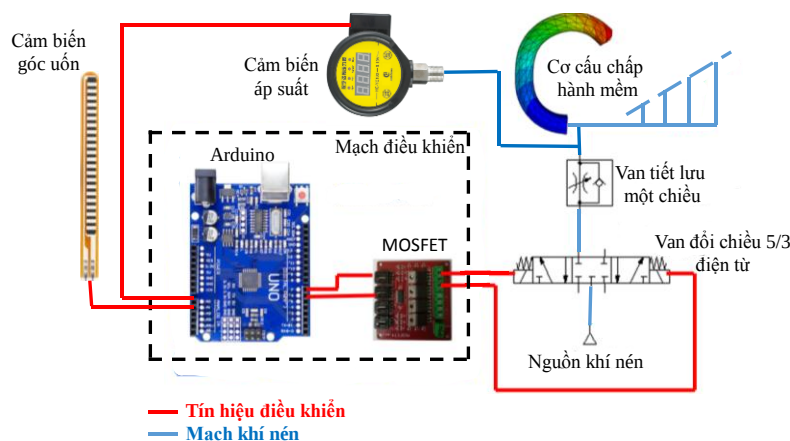
Các ngón tay sau khi chế tạo được lồng vào một găng tay bằng vải sẵn có. Trong đó các ngón mềm được giữ cố định thông qua các vị trí ống lồng tương ứng với vị trí các đốt tay, các dây dẫn khí nén được cố định với nhau tại vị trí tương ứng với cổ tay bệnh nhân. Để tạo phản hồi về vị trí của các ngón tay, các cảm biến góc uốn được dán cố định vào mặt trong của các ngón mềm. Tín hiệu từ các cảm biến này cho phép kiểm soát cũng như điều khiển biên độ cong của từng ngón tay. Găng tay phục hồi chức năng sau khi hoàn thành được thể hiện trên hình 14.



Hình 14. Găng tay phục hồi chức năng sử dụng ngón mềm.

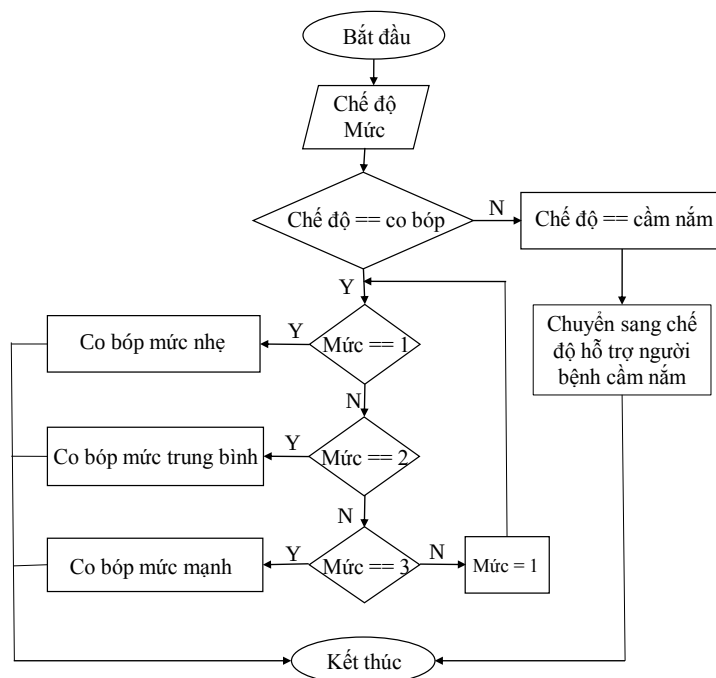
Tiếp theo, bộ điều khiển cho găng tay sẽ được xây dựng. Hoạt động của găng tay được điều khiển thông qua các ngón mềm nhờ bộ điều khiển khí nén và tín hiệu phản hồi từ cảm biến góc uốn. Găng tay mềm hỗ trợ người bệnh được điều khiển bằng cách đóng mở van điều hướng theo các mức áp suất khác nhau để các ngón tay cong với các mức khác nhau.

Một chương trình điều khiển đã được xây dựng để kiểm soát trạng thái đóng/mở của van điện từ với một mạch nguồn (MOSFET) đã được thiết lập điều khiển trên Arduino. Áp suất được tạo ra bởi máy nén khí và được cấp qua van điện từ, sau đó qua van tiết lưu để điều chỉnh lưu lượng dòng khí, sau đó dẫn khí nén đến các ngón mềm. Quá trình lựa chọn các chế độ và các mức co bóp được tiến hành thông qua chương trình giao diện người dùng, hiển thị trên màn hình LCD và được chọn bằng các nút bấm. Sơ đồ nguyên lý điều khiển các ngón mềm nhờ khí nén được thể hiện trên hình 15.



Hình 15. Sơ đồ điều khiển cơ cấu chấp hành mềm.

Điều khiển găng tay mềm được thực hiện theo hai chế độ chính: Chế độ tự động co bóp với mục đích phục hồi chức năng cho bệnh nhân và chế độ hỗ trợ người bệnh cầm nắm. Sơ đồ thuật toán điều khiển găng tay mềm theo các chế độ khác nhau thể hiện trên hình 16.



Hình 16. Sơ đồ thuật toán điều khiển găng tay mềm theo các chế độ khác nhau.

Chế độ tự động co bóp gồm 2 loại. Thứ nhất, loại co bóp tự động được chia thành 3 mức là mức 1, mức 2 và mức 3, tương ứng với các mức áp suất là 350 kPa, 380 kPa và 410 kPa. Tần số co bóp của găng tay mềm được điều chỉnh để đạt được khoảng 20 lần/phút. Khi chuyển sang chế độ co bóp tự động, mạch Arduino phát tín hiệu kích mở MOSFET, cấp nguồn cho cuộn từ bên trái và khí nén được bơm lên các ngón mềm. Sau khi áp suất đạt đến giá trị nhất định, mạch Arduino truyền tín hiệu đến MOSFET kích mở MOSFET thứ 2 cấp nguồn cho cuộn từ bên phải để xả khí nén từ ngón mềm ra ngoài.

Loại co bóp thứ 2 được thiết lập theo tín hiệu phản hồi từ cảm biến góc. Giả sử người bệnh có một bàn tay cần phục hồi, còn bàn tay kia bình thường. Cảm biến góc uốn được gắn vào bàn tay bình thường. Khi bàn tay bình thường nắm vào đạt đến giá trị góc uốn nhất định, cảm biến phát tín hiệu để bộ điều khiển mở van khí nén cho đến khi áp suất đạt đến giá trị yêu cầu và giữ ở đó. Tần số mở và giá trị áp suất khí nén phụ thuộc vào tần số và biên độ mở của găng tay gắn ở bàn tay bình thường. Hệ thống điều khiển khí nén còn có chức năng xả khí qua các van điện từ khi áp suất vượt quá giá trị thiết lập, đảm bảo an toàn cho người sử dụng. Hệ thống điều khiển khí nén còn có chức năng an toàn, xả khí khi áp suất vượt quá giá trị ngưỡng được thiết lập trước. Chế độ hoạt động này được minh họa như hình 17. Cũng với cơ chế tương tự như vậy, găng tay mềm có thể hỗ trợ người bệnh cảm nắm đồ vật theo mong muốn dựa trên tín hiệu từ cảm biến góc.



Hình 17. Điều khiển găng tay mềm theo tín hiệu thu được từ cảm biến góc uốn.

3.3. Thử nghiệm găng tay với các ngón mềm

3.3.1. Thử nghiệm trong trường hợp chỉ có găng tay mềm

Để kiểm tra khả năng làm việc thực tế của găng tay mềm, đầu tiên găng tay mềm được thử nghiệm khả năng co bóp theo các mức áp suất khác nhau và khả năng giữ vật ở trạng thái chỉ có bàn tay mềm. Trong thử nghiệm này, trước hết các vật nặng được xác định khối lượng trước bằng các cân điện tử, các găng tay mềm được giữ bởi tay người ở trạng thái sao cho tay người không tác động gì tới biến dạng của các ngón tay. Các găng tay mềm được đưa đến vị trí tiếp xúc với các vật nặng, sau đó được kích hoạt bằng áp suất khí nén với mức áp suất xác định thông qua hệ thống điều khiển. Kết quả cho thấy găng tay có thể cầm-nắm các vật khác nhau và khối lượng của đồ vật mà găng tay có thể giữ lên đến 350 gram, điều này khẳng định lực và mô men uốn tạo ra từ biến dạng của các ngón mềm khá tốt, có thể hỗ trợ bệnh nhân co bóp tay bị bệnh để tập phục hồi chức năng cũng như hỗ trợ cầm nắm (Hình 18).



Hình 18. Khả năng giữ vật của găng tay.

3.3.2. Thực nghiệm với trường hợp găng tay mềm được đeo vào tay người

Tiếp đó, để kiểm tra khả năng hỗ trợ co bóp của găng tay mềm đối với bàn tay người, hướng tới có thể hỗ trợ người khuyết tật. Găng tay mềm được đeo vào bàn tay người lành như thể hiện trên hình 19. Ba mức áp suất được kích hoạt theo 3 chế độ co bóp được thiết lập trong chương trình điều khiển, tay người được thả lỏng ở trạng thái hoàn toàn tự do. Kết quả cho thấy, găng tay mềm có thể đeo vào tay người và hỗ trợ được người dùng co bóp bàn tay một cách thoải mái.



Hình 19. Găng tay mềm hỗ trợ bàn tay người co bóp ở các mức áp suất khác nhau.

Tương tự thực nghiệm co bóp trên, khả năng găng tay hỗ trợ người khuyết tật cầm nắm một số đồ dùng được tiến hành (Hình 20). Kết quả cho thấy, găng tay có thể hỗ trợ người khuyết tật cầm nắm một số đồ dùng có hình dạng, kích thước khác nhau với khối lượng lên đến 670 gram một cách thuận lợi và thoải mái.



Hình 20. Găng tay mềm hỗ trợ bàn tay người khuyết tật cầm nắm đồ vật.

4. Thảo luận và kết luận

Bài báo đã trình bày quy trình thiết kế, phát triển găng tay hỗ trợ phục hồi chức năng cho người khuyết tật sử dụng ngón mềm, được kích hoạt chuyển động và điều khiển nhờ áp suất khí nén.

Găng tay mềm thiết kế, chế tạo đã đạt được những yêu cầu đặt ra, với khối lượng toàn bộ găng tay bao gồm các ngón mềm, cảm biến và các dây dẫn khí nén bằng 300 gram, cho phép dễ dàng đeo vào bàn tay người một cách thoải mái. Quy trình thiết kế và khảo sát các ngón mềm sử dụng một chương trình tự động tính toán ngón mềm được xây dựng trên ngôn ngữ Python tích hợp với phần mềm Abaqus/CAE, cho phép tự động tính toán khảo sát các phương án thiết kế khác nhau một cách tự động. Nhờ đó, các tham số kích thước phù hợp của ngón mềm đã được lựa chọn theo tiêu chí ngón mềm khi biến dạng bám sát với các ngón tay khác nhau của bàn tay người. Nhờ đó, tay người đeo có thể cử động dễ chịu và linh hoạt. Biên độ và tần số đóng mở của găng tay mềm được điều khiển thông qua việc đóng mở các van điện từ của hệ thống khí nén, tiến hành tự động thông qua chương trình điều khiển, được hiển thị trực quan trên màn hình LCD và các nút bấm đơn giản, dễ sử dụng. Ngoài ra, các ngón mềm còn được tích hợp cảm biến góc uốn, cho phép có thể dùng một bàn tay lành để điều khiển thao tác cho bàn tay bị khuyết tật về vận động. Toàn bộ hệ thống van điện từ và dây dẫn khí nén để dẫn và điều khiển khí nén của găng tay mềm đều có kích thước và khối lượng nhỏ, cho phép thu gọn kích thước của toàn bộ găng tay. Các hệ thống van và chương trình điều khiển khí nén cho phép xả khí khi áp suất khí nén vượt quá giá trị thiết lập, điều đó đảm bảo an toàn trong tương tác giữa người đeo và găng tay mềm.

Với thiết kế hiện tại, găng tay có thể ứng dụng với hai mục đích khác nhau. Một là, hỗ trợ vật lý trị liệu để phục hồi chức năng cho người bị liệt bàn tay do đột quỵ hoặc tai nạn lao động. Hai là, găng tay có thể hỗ trợ người bệnh cầm nắm vật thông thường với các thao tác đơn giản như cầm nắm, di chuyển các vật. Phiên bản hiện tại chưa thể hỗ trợ cho người bệnh thực hiện các thao tác phức tạp phải điều khiển các ngón tay riêng lẻ như cầm đũa, cầm bút...

Cần lưu ý rằng, ở bài báo này găng tay mềm chưa được thử nghiệm thực tế với bàn tay của người bị khuyết tật thật, tuy nhiên những thí nghiệm về khả năng co bóp và giữ vật ở trạng thái chỉ có găng tay mềm và trạng thái đeo vào tay người lành nhưng được thả tự do đã khẳng định được khả năng thao tác linh hoạt và hỗ trợ cầm nắm của

găng tay mềm đạt được chỉ tiêu thiết kế đề ra. Thực nghiệm cho thấy găng tay hiện tại có thể cầm nắm có khối lượng đến 670 gram, khoảng giá trị này cũng phù hợp với những vật thông thường mà người bệnh phải cầm nắm thường ngày. Để có thể cầm nắm các vật có khối lượng nặng hơn thì cần tăng áp suất khí nén và tăng độ dày lớp thân chính của ngón tay để đảm bảo găng tay không bị thủng, rách.

Hệ thống dây dẫn khí nén được cố định gọn gàng vào găng tay, với khối lượng tổng cộng của găng tay và dây dẫn khí nén không quá 300 gram, cho phép dễ dàng đeo găng tay vào bàn tay cần hỗ trợ và cố định các dây dẫn khí vào cổ tay của bệnh nhân. Việc sử dụng nguồn khí nén có thể được thực hiện theo hai hướng: Một là, sử dụng máy nén khí nguồn xoay chiều cỡ lớn được bố trí một khu riêng, rồi chia đến nhiều vị trí trong nhà tập luyện để tiện cho quá trình tập luyện phục hồi chức năng của bệnh nhân (ở các khu điều trị tập trung). Hai là, sử dụng máy nén khí nguồn điện một chiều cỡ nhỏ (ví dụ máy nén khí BXD24 kích thước nhỏ gọn $15 \times 7,5 \times 11,5$ (cm), nặng 1 kg, nguồn DC 12V) có khả năng đóng gói trong một hộp điều khiển kích thước nhỏ gọn đi kèm theo găng tay để hỗ trợ người bệnh trong những sinh hoạt đơn giản. Thiết bị có thể di chuyển bằng tay với sự hỗ trợ của người nhà bệnh nhân hoặc được đặt cố định lên các vị trí thích hợp trên xe lăn của bệnh nhân.

Để có thể phát triển găng tay mềm trong nghiên cứu này thành một sản phẩm có thể sử dụng được trong thực tế, những nghiên cứu thực nghiệm sâu rộng hơn cần được tiến hành. Trước hết, các nghiên cứu sâu hơn về động lực học của các ngón mềm như lực và mô men uốn tạo ra của từng ngón dưới tác dụng của các mức áp suất khí nén khác nhau. Sau đó, mô hình động lực học khi găng tay được đeo vào tay người cần được đề xuất để phân tích tường minh hơn khả năng hỗ trợ thực tế của găng tay mềm. Tiếp đó, các quy trình đóng gói toàn bộ găng tay, hệ thống khí nén và điều khiển cũng như đề xuất phương án tối ưu hóa về năng lượng sử dụng cần được thực hiện cụ thể. Cuối cùng, găng tay phải được thực nghiệm trên số lượng đủ lớn bàn tay người bị khuyết tật để kiểm tra khả năng làm việc thực tế và hoàn thiện sản phẩm găng tay mềm này. Các nhiệm vụ nghiên cứu này sẽ được các tác giả thực hiện trong các nghiên cứu tiếp theo.

Tài liệu tham khảo

- [1] Bùi Ngọc Tiến, “Nghiên cứu đặc điểm lâm sàng và các yếu tố nguy cơ của bệnh nhân đột quỵ não trên 50 tuổi,” *Tạp chí KH&CN - Trường Đại học Hòa Bình*, Số 01, tr. 113-118, 2021.

- [2] D. A. Nowak, "The impact of stroke on the performance of grasping: Usefulness of kinetic and kinematic motion analysis," *Neurosci. Biobehav. Rev.*, Vol. 32, No. 8, pp. 1439-1450, 2008. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2008.05.021
- [3] O. H. Gündüz and C. Ş. Toprak, *Hand function in stroke*. Springer, 2019.
- [4] A. C. H. Geurts, M. De Haart, I. J. W. Van Nes, and J. Duysens, "A review of standing balance recovery from stroke," *Gait Posture*, Vol. 22, No. 3, pp. 267-281, 2005. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2004.10.002
- [5] A. Pollock et al., "Physical rehabilitation approaches for the recovery of function and mobility following stroke," *Cochrane Database Syst. Rev.*, No. 4, 2014.
- [6] S. Masiero, A. Celia, G. Rosati, and M. Armani, "Robotic-Assisted Rehabilitation of the Upper Limb After Acute Stroke," *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, Vol. 88, No. 2, pp. 142-149, 2007. DOI: 10.1016/j.apmr.2006.10.032
- [7] P. Polygerinos, Z. Wang, K. C. Galloway, R. J. Wood, and C. J. Walsh, "Soft robotic glove for combined assistance and at-home rehabilitation," *Rob. Auton. Syst.*, Vol. 73, pp. 135-143, 2015. DOI: 10.1016/j.robot.2014.08.014
- [8] O. Ozioko and R. Dahiya, "Smart Tactile Gloves for Haptic Interaction, Communication, and Rehabilitation," *Adv. Intell. Syst.*, Vol. 4, No. 2, 2022, 2100091. DOI: 10.1002/aisy.202100091
- [9] P. Polygerinos et al., "Modeling of Soft Fiber-Reinforced Bending Actuators," *IEEE Trans. Robot.*, Vol. 31, No. 3, pp. 778-789, Jun. 2015. DOI: 10.1109/TRO.2015.2428504
- [10] M. H. Namdar Ghalati, H. Ghafarirad, A. A. Suratgar, M. Zareinejad, and M. A. Ahmadi-Pajouh, "Static modeling of soft reinforced bending actuator considering external force constraints," *Soft Robot.*, Vol. 9, No. 4, pp. 776-787, 2022.
- [11] L. Gharavi, M. Zareinejad, and A. Ohadi, "Continuum analysis of a soft bending actuator dynamics," *Mechatronics*, Vol. 83, 2022, 102739.
- [12] Phùng Văn Bình, Nguyễn Quốc Anh, Nguyễn Trọng Hoàng, Trần Anh Vàng, Đặng Hoàng Minh, "Xác định đặc trưng cơ tính của vật liệu siêu đàn hồi và tự động tính toán tay gấp mềm cho robot," *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội*, Tập 57, Số 3, tr. 96-101, 2021.
- [13] Hoang Minh Dang, Chi Thanh Vo, Viet Duc Nguyen, Hai Nam Nguyen, Anh Vang Tran, and Van Binh Phung, "A method for determining parameters of hyperelastic materials and its application in simulation of pneumatic soft actuator," *Int. J. Comput. Mater. Sci. Eng.*, Vol. 10, No. 03, 2021, 2150017.

DESIGN AND MANUFACTURE OF SOFT FINGER-GLOVES FOR REHABILITATION OF INDIVIDUALS WITH DISABILITIES

Abstract: *This article presents the development and production process of a glove designed for rehabilitation, and enhancing object manipulation capabilities for individuals with hand mobility limitations, using soft finger design. The soft fingers are constructed from a composite structure consisting of silicone rubber material. An automated calculation program is created in Python and integrated with Abaqus/CAE software, enabling the concurrent exploration of numerous parameters governing the soft fingers to choose a rational design of glove. Experimental tests reveal that the error of the experiment and simulation results is less than 7.8%. Furthermore, these deformable soft fingers can closely mimic the contours of human fingers. Leveraging the successful construction of the soft fingers, a corresponding soft glove is manufactured. Preliminary validated experiments demonstrate the effectiveness of these soft gloves in aiding patients with diverse exercise rehabilitation. Additionally, they provide support for basic tasks such as grasping objects weighing approximately 600 grams.*

Keywords: Soft fiber-reinforced fingers; soft robotic glove; automatic calculation program; the Python-Abaqus/CAE script; rehabilitation.

Nhận bài: 24/04/2023; Hoàn thiện sau phản biện: 22/01/2024; Chấp nhận đăng: 05/04/2024

