# THIẾT BỊ LUYỆN TẬP HỒI PHỤC CHỨC NĂNG PHỔI CHO BỆNH NHÂN PHỔI ĐÃ XUẤT VIỆN

## PULMONARY REHABILITATION TRAINING DEVICE FOR POST-DISCHARGE LUNG PATIENTS

***Võ Viết Hữu Long[1], Nguyễn Quốc Hưng[2], Ngô Châu Tú[3] ,Nguyễn Văn Tuấn[4], Than Phan Khải[5] , Nguyễn Chiếm Hậu[6]***

*[1]Lớp 24D2 – khoa Điện-Điện tử; huulongvoviet09095@gmail.com*

*[2]Lớp 24D2 – khoa Điện-Điện tử;*

*[3]Lớp 24D2 – khoa Điện-Điện tử;*

*[4]Lớp 24D2 – khoa Điện-Điện tử;*

*[5]Lớp 24DTVM2 – khoa Điện-Điện tử; phankhai14.dn@gmail.com*

*[6] Lớp 23D2 – khoa Điện-Điện tử; nguyenchiemhau.tk3@gmail.com*

***GVHD: ThS. Phan Ngọc Kỳ***

*Khoa Điện – Điện Tử, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật- Đại học Đà Nẵng*

**Tóm tắt –** Phục hồi chức năng phổi (Pulmonary Rehabilitation) là phương pháp không dùng thuốc quan trọng giúp bệnh nhân sau xuất viện cải thiện dung tích sống, sức mạnh cơ hô hấp và giảm khó thở, đặc biệt ở bệnh nhân COPD, di chứng hậu COVID-19 và các bệnh lý hô hấp mạn tính. Tuy nhiên, các thiết bị huấn luyện cơ hô hấp (IMT) thương mại hiện nay có giá thành cao, thiếu khả năng theo dõi định lượng và cá nhân hóa bài tập.

Nhóm đã thiết kế và chế tạo nguyên mẫu máy hỗ trợ phục hồi chức năng phổi tại nhà sử dụng cảm biến encoder turbine đo lưu lượng và thể tích hô hấp, kết hợp van bướm servo điều chỉnh kháng lực theo 4 mức Level. Hệ thống được xây dựng theo kiến trúc 3 tầng: STM32F103C8T6 xử lý tín hiệu thời gian thực, ESP32 quản lý giao diện người dùng, hiển thị LCD và các tính năng an toàn.

Kết quả thử nghiệm cho thấy sai số đo dung tích sống (VC) trung bình chỉ 1,61%, nằm trong giới hạn tiêu chuẩn ISO 26782. Thiết bị hỗ trợ hiệu chuẩn tự động, lọc nhiễu, phân loại Level cá nhân hóa và điều chỉnh cường độ luyện tập theo tiến triển. Chi phí nguyên mẫu khoảng 800.000 VND, thấp hơn đáng kể so với thiết bị nhập khẩu.

Đề tài cung cấp giải pháp công nghệ giá rẻ, dễ sử dụng, phù hợp với người Việt Nam sau xuất viện.

**Từ khóa** – Phục hồi chức năng phổi; Huấn luyện cơ hô hấp; Encoder turbine; Van bướm servo; STM32; ESP32; Thiết bị y tế nhúng

**Abstract** – Pulmonary rehabilitation is an important non-pharmacological method to improve lung capacity, respiratory muscle strength and reduce dyspnea in post-discharge patients, especially those with COPD, post-COVID-19 sequelae and other chronic respiratory diseases. However, commercial Inspiratory Muscle Training (IMT) devices are often expensive and lack quantitative monitoring and personalization features.

The team designed and fabricated a prototype home-based pulmonary rehabilitation device using a turbine encoder to measure respiratory flow and volume, combined with a servo butterfly valve to adjust resistance across 4 training levels. The system adopts a 3-layer architecture with STM32F103C8T6 for real-time signal processing and ESP32 for user interface and safety features.

Experimental results showed an average error of 1.61% in Vital Capacity (VC) measurement, complying with ISO 26782 standards. The device supports automatic calibration, noise filtering, personalized level classification and adaptive training intensity. The prototype cost is approximately 800,000 VND, significantly lower than imported devices.

The project provides an affordable and user-friendly technological solution for Vietnamese post-discharge lung patients.

**Key words –** Pulmonary rehabilitation; Inspiratory muscle training; Turbine encoder; Servo butterfly valve; STM32; ESP32; Embedded medical device

## 1. Đặt vấn đề

Phổi là cơ quan quan trọng nhất của hệ hô hấp, chịu trách nhiệm trao đổi oxy và thải $CO_2$ để duy trì sự sống. Hiện nay, do ô nhiễm môi trường, hút thuốc lá và đặc biệt là di chứng của đại dịch COVID-19, số lượng bệnh nhân suy giảm chức năng phổi tại Việt Nam đang tăng mạnh. Theo thống kê của Bộ Y tế (2023), có hơn 4,2 triệu người mắc bệnh phổi tắc nghẽn mạn tính (COPD) và hàng triệu người gặp phải khó thở kéo dài sau khi khỏi COVID-19.

Phục hồi chức năng hô hấp (Pulmonary Rehabilitation) được Tổ chức Y tế Thế giới (WHO) và Hội Hô hấp Châu Âu – Mỹ (ERS/ATS) khuyến cáo mạnh mẽ vì đây là phương pháp giúp tăng dung tích phổi, cường hóa cơ hô hấp và cải thiện chất lượng cuộc sống mà không cần dùng thuốc. Trong đó, **huấn luyện cơ hô hấp (Inspiratory Muscle Training – IMT)** là kỹ thuật cốt lõi.

Tuy nhiên, hầu hết thiết bị IMT hiện có trên thị trường Việt Nam là hàng nhập khẩu, giá cao, chỉ tạo kháng lực cơ học đơn giản, không đo được lưu lượng và thể tích chính xác, không theo dõi tiến triển và khó cá nhân hóa theo từng bệnh nhân. Đây chính là khoảng trống mà đề tài hướng đến giải quyết: chế tạo một thiết bị **giá rẻ – chính xác – dễ sử dụng tại nhà** dành cho bệnh nhân phổi sau xuất viện.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

Đề tài được thực hiện theo quy trình nghiên cứu ứng dụng gồm năm giai đoạn chính: thu thập tài liệu và khảo sát thực trạng, nghiên cứu cơ sở lý thuyết và lựa chọn công nghệ, thiết kế hệ thống, chế tạo nguyên mẫu, thử nghiệm đánh giá và phân tích kết quả. Toàn bộ quá trình nghiên cứu được tiến hành tại phòng thí nghiệm Khoa Cơ Khí, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Đà Nẵng từ tháng 10 năm 2023 đến tháng 5 năm 2024. Hệ thống được thiết kế theo kiến trúc phân tầng rõ ràng gồm ba tầng độc lập để đảm bảo tính mô-đun hóa, dễ bảo trì và dễ mở rộng sau này. Tầng cảm biến bao gồm encoder hồng ngoại gắn trên turbine flowmeter để đo lưu lượng khí hô hấp và van bướm servo để tạo kháng lực điều chỉnh được. Tầng xử lý sử dụng vi điều khiển STM32F103C8T6 thực hiện các nhiệm vụ thời gian thực như đọc xung encoder, lọc nhiễu bằng thuật toán Moving Average 5 mẫu, hiệu chuẩn cảm biến và tính toán lưu lượng tức thời cùng thể tích tích lũy. Tầng điều khiển và giao diện do vi điều khiển ESP32 đảm nhận bao gồm hiển thị thông số trên màn hình LCD 20×4, xử lý lệnh từ keypad, điều khiển servo qua tín hiệu PWM, phát âm thanh cảnh báo qua buzzer và xử lý nút STOP khẩn cấp. Phương pháp đo lường dựa trên nguyên lý turbine flowmeter trong đó dòng khí làm quay cánh turbine và encoder đếm số xung để tính lưu lượng tức thời theo công thức $\mathbf{Q(t)} = \mathbf{k} \times \frac{\mathbf{N(t)}}{\mathbf{\Delta t}}$ với k là hệ số hiệu chuẩn được xác định thực nghiệm bằng syringe chuẩn 3L trước mỗi phiên đo. Thể tích tích lũy được tính bằng phương pháp tích phân số Trapezoidal Rule. Giá trị dung tích sống dự đoán VC_predicted được tính theo bộ phương trình GLI-2012 dành cho nhóm South East Asian. Chỉ số kháng lực dòng chảy FRS được tính gián tiếp từ tỷ lệ lưu lượng khi có kháng lực so với lưu lượng tối đa cá nhân. Thiết kế cơ khí được thực hiện trên phần mềm SolidWorks sử dụng khung nhôm định hình 20×20 mm kết hợp ống dẫn khí ABS y tế đường kính trong 22 mm. Mạch điện tử được thiết kế trên Proteus sau đó chế tạo và hàn thủ công. Phần mềm nhúng trên STM32 được lập trình bằng ngôn ngữ C trên môi trường STM32CubeIDE sử dụng HAL Library và Timer Input Capture trong khi ESP32 được lập trình bằng Arduino IDE kết hợp FreeRTOS để quản lý đa nhiệm. Thử nghiệm được thực hiện trên 5 tình nguyện viên khỏe mạnh trong độ tuổi từ 22 đến 25 tuổi với thiết bị đối chứng là máy spirometer chuẩn Chestograph HI-101. Các chỉ tiêu đánh giá bao gồm độ chính xác đo dung tích sống, độ ổn định của thuật toán phân loại Level, tính an toàn của hệ thống và chi phí chế tạo nguyên mẫu. Điều kiện thử nghiệm được kiểm soát ở nhiệt độ phòng 25–28°C và độ ẩm 50–70%. Các công cụ hỗ trợ bao gồm SolidWorks cho thiết kế cơ khí, Proteus cho thiết kế mạch, STM32CubeIDE và Arduino IDE cho lập trình nhúng

## 3. Nội dung thực hiện

### *3.1. Phương pháp triển khai*

**Thu thập tài liệu và phân tích thực trạng**: Tổng quan về phục hồi chức năng hô hấp theo hướng dẫn ERS/ATS (European Respiratory Society/American Thoracic Society), tập trung vào IMT (huấn luyện cơ hít vào). Phân tích hạn chế của thiết bị thương mại (Threshold IMT, POWERbreathe): giá cao, thiếu đo lường định lượng, không cá nhân hóa. Xác định yêu cầu: đo lưu lượng hô hấp, tính dung tích sống (VC), tạo kháng lực điều chỉnh được, an toàn, chi phí thấp (< 1 triệu VNĐ cho prototype).

**Xác định mục tiêu và phạm vi**:

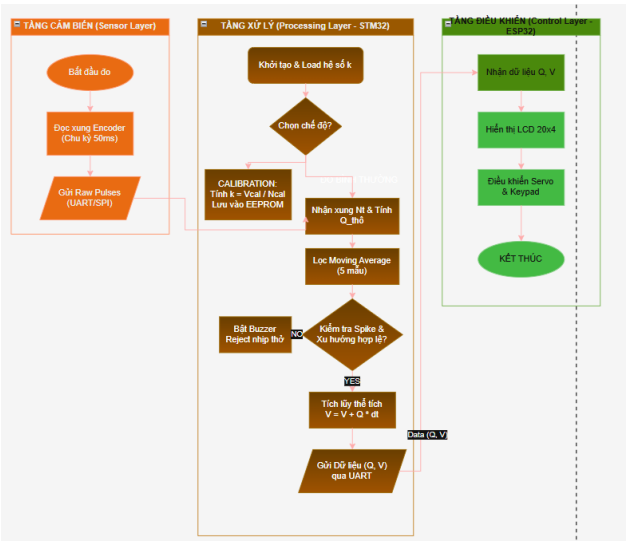
Mục tiêu: Thiết kế prototype đo chính xác (sai số ≤ 3% theo ISO 26782), điều chỉnh kháng lực 4 mức Level, tích hợp an toàn (hard limit, STOP khẩn cấp).

Phạm vi: Chỉ prototype phòng lab, không thử nghiệm lâm sàng giai đoạn đầu.

**Phân tích nhu cầu người dùng**: Bệnh nhân COPD, hậu COVID-19, người cao tuổi → ưu tiên dễ sử dụng, giao diện tiếng Việt, theo dõi tiến trình.

### *3.2. Sơ đồ khối hệ thống*

Sơ đồ khối thể toàn bộ quá trình vận hành của hệ thống thành các khối chức năng riêng biệt, giúp dễ hình dung và hiểu được luồng hoạt động giữa các thành phần. (Hình 1).




*Hình 1: Sơ đồ khối hệ thống*

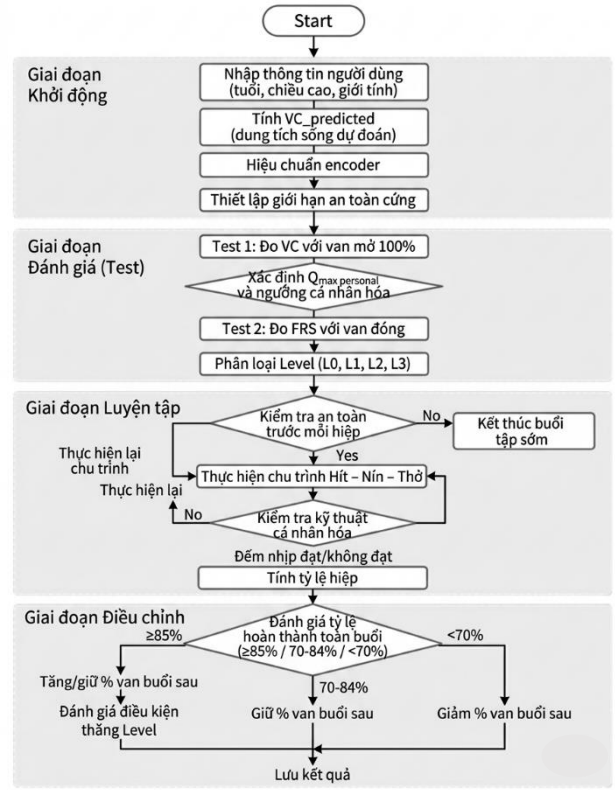
### *3.3. Thiết kế mô hình*



*Hình 2: Thiết kế mô hình*

### *3.4. Lưu đồ giải thuật*

Hệ thống mô hình sau khi thực hiện thì người dùng có thể nhập tùy chỉnh số xung để điều khiển động cơ lên hoặc xuống . Lưu đồ giải thuật được thực hiện như tại Hình 8.




*Hình 3: Lưu đồ giải thuật hệ thống*

## 4. Thực nghiệm

### *4.1. Kết quả đạt được*

Thiết bị hỗ trợ phục hồi chức năng phối sử dụng encoder turbine, van bướm servo và vi điều khiển STM32 kết hợp ESP32 đã được chế tạo thành công nguyên mẫu.

Hệ thống có trọng lượng khoảng 2,5 kg, dễ sử dụng tại nhà. Encoder turbine đo lưu lượng hô hấp chính xác, van bướm servo điều chỉnh kháng lực theo 4 mức Level linh hoạt. Kiến trúc 3 tầng (STM32 xử lý tín hiệu, ESP32 điều khiển và hiển thị) hoạt động ổn định. Thuật toán lọc nhiễu Moving Average, kiểm tra dạng sóng và nút STOP khẩn cấp đảm bảo an toàn.

Kết quả thử nghiệm trên 5 tình nguyện viên khỏe mạnh cho thấy sai số đo dung tích sống (VC) trung bình đạt **1,61% ± 0,09%** so với spirometer chuẩn, thuật toán phân loại Level chính xác **100%**. Chi phí chế tạo nguyên mẫu chỉ khoảng **800.000 VNĐ**.

### *4.2. Phân tích kết quả*

Kết quả thử nghiệm khẳng định nguyên mẫu đáp ứng tốt yêu cầu đề ra. Sai số đo VC 1,61% nằm trong giới hạn cho phép của tiêu chuẩn **ISO 26782 lớp B** (≤ 3%), cho thấy độ chính xác và ổn định cao.

Ưu điểm nổi bật là khả năng cá nhân hóa bài tập theo Score, chi phí thấp hơn 60–80% so với thiết bị IMT thương mại và tích hợp nhiều cơ chế an toàn. Hệ thống chứng minh tính khả thi của giải pháp sử dụng encoder turbine kết hợp van bướm servo trên nền tảng nhúng STM32–ESP32.

Hạn chế hiện tại là sai số nhỏ do tổn thất áp suất tại turbine và chưa thử nghiệm trên bệnh nhân thực tế. Kết quả nghiên cứu mở ra hướng phát triển thiết bị phục hồi chức năng phổi giá rẻ, phù hợp với nhu cầu tại Việt Nam.

## 5. Kết luận

Sau quá trình nghiên cứu và xây dựng đề tài "Thiết kế và chế tạo máy hỗ trợ phục hồi chức năng phổi sử dụng encoder turbine, van bướm servo và vi điều khiển STM32 kết hợp ESP32" đã đạt được các mục tiêu đề ra.

Nguyên mẫu thiết bị được chế tạo thành công với trọng lượng nhẹ (2,5 kg), chi phí thấp (khoảng 800.000 VNĐ) và hoạt động ổn định. Hệ thống đo lưu lượng hô hấp chính xác với sai số trung bình chỉ **1,61%**, đáp ứng tiêu chuẩn ISO 26782 lớp B. Thuật toán phân loại 4 mức Level luyện tập tự động dựa trên điểm Score cá nhân hóa, kết hợp các cơ chế an toàn (Hard Limit 60%, nút STOP khẩn cấp) đã hoạt động hiệu quả.

Kết quả nghiên cứu cho thấy giải pháp sử dụng encoder turbine kết hợp van bướm servo trên nền tảng vi điều khiển STM32 và ESP32 là hướng tiếp cận khả thi, có chi phí thấp hơn 60–80% so với thiết bị thương mại nhập khẩu. Thiết bị có tiềm năng ứng dụng thực tế trong phục hồi chức năng phổi tại cộng đồng, đặc biệt cho bệnh nhân COPD, hen suyễn và di chứng hậu COVID-19 tại Việt Nam.

Trong thời gian tới, nhóm sẽ tiếp tục hoàn thiện thiết bị bằng cách tích hợp cảm biến $SpO_2$, phát triển ứng dụng di động kết nối không dây và thực hiện thử nghiệm lâm sàng trên bệnh nhân thực tế.

## Tài liệu tham khảo


[1] Spruit M.A. et al., "An Official American Thoracic Society/European Respiratory Society Statement: Key Concepts and Advances in Pulmonary Rehabilitation," Am. J. Respir. Crit. Care Med., vol. 188, no. 8, pp. e13–e64, 2013.

[2] Gosselink R., "Controlled Breathing and Dyspnea in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease," J. Rehabil. Res. Dev., vol. 40, pp. 25–34, 2003.

[3] Knudson R.J. et al., "The Maximal Expiratory Flow-Volume Curve: Normal Standards, Variability, and Effects of Age," Am. Rev. Respir. Dis., vol. 113, pp. 587–600, 1976.

[4] STMicroelectronics, "STM32F103C8T6 Datasheet," Rev.17,2021. [Online]. Available: https://www.st.com

[5] Espressif Systems, "ESP32 Technical Reference Manual," v5.1, 2023. [Online]. Available: https://docs.espressif.com

[6] ISO 26782:2009, "Anaesthetic and Respiratory Equipment – Spirometers Intended for the Measurement of Time-Forced Expired Volumes in Humans."

[7] Bộ Y tế Việt Nam, "Hướng dẫn phục hồi chức năng cho người bệnh COPD," Quyết định 3109/QĐ-BYT, 2020.

[8] Nghị định 98/2021/NĐ-CP, "Về quản lý trang thiết bị y tế," Chính phủ Việt Nam, 2021.

**Thông tin về tác giả**

| | |
|---|---|
|  | Nguyễn Chiếm Hậu<br>- Quản lý nhóm hiệu quả hơn, tiếp thu được kiến thức điện tử, hoạt động nhóm tích cực, hoàn thành nhiệm vụ đề ra, đưa ra các hướng giải quyết khó khăn trong thời gian làm đề tài.<br>- Lĩnh vực quan tâm: điện tử, kĩ thuật điều khiển, kĩ năng làm việc nhóm<br>- Điện thoại: 0369650619 |
|  | Ngô Châu Tú<br>- Tiếp nhận kiến thức về điện tử và lập trình, hoàn thành đa số nhiệm vụ được giao, hoạt động nhóm tích cực.<br>- Lĩnh vực quan tâm: điện tử, kĩ thuật điều khiển, kĩ năng làm việc nhóm<br>- Điện thoại: 0912733220 |
|  | Nguyễn Văn Tuấn<br>- Hoạt động tích cực trong đề tài, tiếp thu kiến thức điện tử và thiết kế phần cứng tốt, phát triển kỹ năng làm việc nhóm, hoàn thành trách nhiệm được giao.<br>- Lĩnh vực quan tâm: điện tử, kĩ thuật điều khiển<br>- Điện thoại: 0387021278 |
|  | Nguyễn Quốc Hưng<br>-Hoàn thành tốt nhiệm vụ được giao, hoạt động nhóm tốt, tiếp thu kiến thức lập trình;<br>- Lĩnh vực quan tâm: điện tử, kĩ thuật điều khiển<br>- Điện thoại: 0905903172 |
|  | Võ Viết Hữu Long<br>-Hoàn thành tốt nhiệm vụ được giao, tiếp thu kiến thức lập trình;<br>- Lĩnh vực quan tâm: điện tử, kĩ thuật điều khiển<br>- Điện thoại: 0908535235 |
|  | Than Phan Khải<br>- Hoàn thành tốt nhiệm vụ được giao, hoạt động nhóm tốt, tiếp thu kiến thức lập trình;<br>- Lĩnh vực quan tâm: điện tử, kĩ thuật điều khiển<br>- Điện thoại: 0342408768 |