

การเปลี่ยนแปลงความดันลบขณะใช้เครื่อง Flow-Oriented Incentive Spirometer  
เมื่อปิดช่องของท่อความจุในรูปแบบที่แตกต่างกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสมรรถภาพปอด  
The Alterations in Negative Pressure During the Use of Flow-Oriented Incentive Spirometer  
when Closing Different Gates of Capacity Chamber to Enhance Pulmonary  
Rehabilitation Efficiency

ปฏิพล ก้าวงามพาณิชย์<sup>1\*</sup> และ กรวิษฐ์ ลิขิต<sup>2</sup>

Pattipon Kaongampanich and Korawit Likit

<sup>1</sup>นักกายภาพบำบัด งานกายภาพบำบัด

<sup>2</sup>นักศึกษากายภาพบำบัด สาขากายภาพบำบัด

<sup>1</sup>ศูนย์การแพทย์กาญจนาภิเษก คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล

<sup>2</sup>คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

\*Corresponding Author: email: pattipon.ka@gmail.com

### บทคัดย่อ

Incentive Spirometer เป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้ในการฟื้นฟูระบบหายใจในผู้ป่วยหลายกลุ่มโรค ทำงานโดยอาศัยความแตกต่างของความดันอากาศเพื่อทำให้ระดับลูกบอลในท่อความจุลอยตัวสูงขึ้น ปัจจุบัน Flow-oriented incentive spirometer (FIS) มีความนิยมมากกว่า Volume-oriented incentive spirometer (VIS) เนื่องจากใช้งานง่าย ขนาดเล็ก และราคาถูก ทั้งนี้ หากใช้งาน FIS ไม่ถูกวิธีหรือมีสมรรถภาพของระบบหายใจต่ำอาจทำให้ใช้งานได้ไม่มีประสิทธิภาพ การศึกษาภาคตัดขวางฉบับนี้จัดทำขึ้น เพื่อค้นหารูปแบบการปรับช่องเปิดของท่อความจุของอุปกรณ์ FIS ที่ใช้ความดันลบน้อยที่สุดใน การทำให้ลูกบอลลูกที่ 1 ลอยขึ้นจนสุดท่อ และหาแนวโน้มของความสัมพันธ์ดังกล่าวในอุปกรณ์ FIS ที่แตกต่างกันแต่ละชนิด เพื่อนำไปสู่การพัฒนาการใช้งานอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับผู้ป่วยมากยิ่งขึ้น

จากการศึกษาพบว่า การปิดช่องเปิดของท่อความจุที่ 2 และ 3 จะใช้ความดันลบน้อยลงถึง 2.2 - 2.8 เท่าเมื่อเทียบกับการใช้อุปกรณ์ที่ไม่มีการปรับเปลี่ยนช่องเปิดความจุใดๆ รวมถึงอุปกรณ์ FIS ในแต่ละชนิดมีแนวโน้มของการใช้ความดันลบไปในทิศทางเดียวกัน ผลจากการศึกษานี้สามารถนำไปทดลองจริงกับผู้ใช้งานสุขภาพดีและผู้ป่วยที่มีสมรรถภาพของระบบหายใจต่ำได้ในอนาคต เพื่อให้เกิดการใช้งาน FIS ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

**คำสำคัญ:** กายภาพบำบัด; อุปกรณ์วัดการหายใจ; การฟื้นฟูระบบหายใจ; ปอดแฟบ; ความดันลบ

### Abstract

The incentive spirometer is widely used for pulmonary rehabilitation across patient groups. It is operated by air pressure gradients to elevate the ball indicator within its capacity chambers. Currently, flow-oriented incentive spirometers (FIS) are more popular than volume-oriented incentive spirometers (VIS) due to their ease of use, compact size, and affordability. However, improper use of FIS or reduced respiratory capacity can result in suboptimal performance. This cross-sectional study aimed to identify the closing gates patterns at capacity chambers of FIS that required the lowest negative pressure to elevate the first ball to the top of the chamber and their trends among different types of FIS to enhance the clinical applicability of the device for individual patient needs.

The results showed that closing both gates of the second and third capacity chamber reduced the required negative pressure by 2.2 – 2.8 times compared to the original device. Furthermore, different types of FIS exhibited similar trends in requirements of negative pressure requirements. In future study, these findings can be further validated through healthy individuals and patients with reduced respiratory capacity to help optimize FIS utilization for its maximum efficiency.

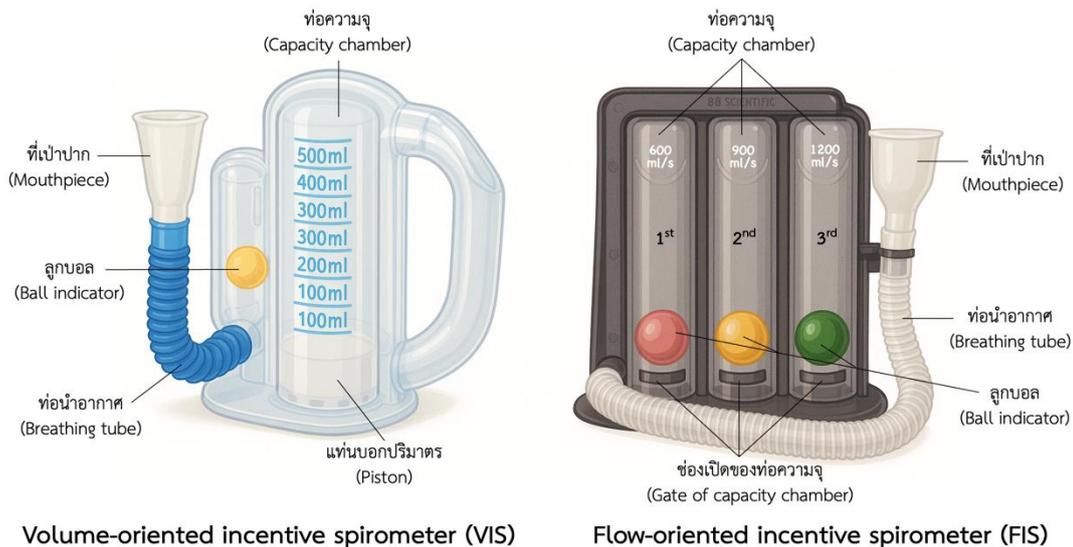
**Keywords:** Physical therapy; Incentive spirometer; Pulmonary rehabilitation; Atelectasis; Negative pressure

วันที่รับบทความ: 30 เม.ย. 68 วันที่แก้ไขบทความ: 15 พ.ค. 68 วันที่ตอบรับบทความ: 30 พ.ค. 68 [DOI 1 http://doi.org/10.14456/.....](http://doi.org/10.14456/.....)

## 1. บทนำ

Incentive Spirometer เป็นหนึ่งในอุปกรณ์ทางกายภาพบำบัดที่นิยมใช้ในการฟื้นฟูระบบหายใจของผู้ป่วย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เสริมสร้างการทำงานของกล้ามเนื้อหายใจเข้า (Inspiratory muscle training) กระตุ้นการขับเสมหะ (Secretion clearance) และลดภาวะปอดแฟบ (Decreased atelectasis)<sup>(1,2)</sup> สามารถใช้ได้กับผู้ป่วยหลายกลุ่มโรค เช่น ผู้ป่วยหลังผ่าตัดทรวงอกและช่องท้อง (Thoracic and abdominal surgery) ผู้ป่วยปอดติดเชื้อ (Pneumonia) ผู้ป่วยไขสันหลังบาดเจ็บ (Spinal cord injury) และผู้ป่วยที่มีภาวะถดถอยของร่างกายจากการรักษาตัวที่โรงพยาบาลเป็นเวลานาน (Prolonged bed rest)<sup>(3-5)</sup>

อุปกรณ์ดังกล่าวจะทำงานเมื่อเกิดความดันลบในปอด (Negative-pressure mechanics) ที่ผู้ใช้งานสร้างขึ้นขณะหายใจเข้าผ่านทางที่เป่าปากของอุปกรณ์ (Mouthpiece)<sup>(6)</sup> (รูปที่ 1) เมื่อผู้ใช้งานหายใจเข้าด้วยปริมาตรหรืออัตราเร็วตามที่อุปกรณ์กำหนดไว้จะทำให้ระดับลูกบอลของอุปกรณ์ลอยตัวสูงขึ้น เป็นกลไกการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยภาพ (Visual feedback) ที่ช่วยกระตุ้นความสนใจและส่งเสริมให้เกิดการใช้งานต่อเนื่อง<sup>(5)</sup> โดยขณะใช้งานควรหายใจเข้าอย่างช้าๆ และลึกที่สุด (Slow and deep breath) เพื่อกระตุ้นให้ทรวงอกและปอดขยายตัวอย่างเหมาะสม ซึ่งเป็นการฝึกที่มีประสิทธิภาพสูงในการฟื้นฟูระบบหายใจ เทียบเท่ากับการฝึกหายใจด้วยเทคนิค Sustained maximal inspiration (SMI)<sup>(7)</sup>



รูปที่ 1 องค์ประกอบของเครื่อง Volume-oriented incentive spirometer (ซ้าย) และ Flow-oriented incentive spirometer (ขวา)  
(ที่มา: ภาพจัดทำขึ้นโดย ปฏิพล ก้าวงามพาณิชย์ และ กรวิษฐ์ ลิขิต โดยใช้ ChatGPT (OpenAI, สร้างเมื่อวันที่ 20 เมษายน 2568)

ปัจจุบัน Incentive spirometer มีหลากหลายยี่ห้อและรูปแบบ ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ Volume-oriented incentive spirometer (VIS) และ Flow-oriented incentive spirometer (FIS) (รูปที่ 1) จากการศึกษาหลายฉบับพบว่า VIS มีประสิทธิภาพมากกว่า FIS ในการฟื้นฟูสมรรถภาพของปอด เนื่องจากช่วยเพิ่มการขยายตัวของทรวงอกช่วงล่าง (Abdominal wall motion) เพิ่มค่าความจุปอดบังคับ (Forced Vital Capacity) ลดการใช้งานของกล้ามเนื้อหายใจ (Respiratory muscle activity) และลดระดับความยากลำบากในการทำกิจวัตรประจำวันหลังการผ่าตัดได้ดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญ<sup>(8-12)</sup> ทั้งนี้ VIS มีความนิยมในการใช้งานที่น้อยกว่า เนื่องจากนักกายภาพบำบัดส่วนใหญ่ไม่คุ้นชินในการใช้งาน ขนาดใหญ่ และมีราคาสูง จึงทำให้ FIS มีความนิยมและแพร่หลายมากกว่าสำหรับการใช้งานในโรงพยาบาล<sup>(13)</sup>

อย่างไรก็ตาม FIS อาศัยอัตราเร็วของลมหายใจเข้า (Airflow rate) ในการยกลูกบอลของอุปกรณ์ให้ลอยตัวสูงขึ้น หากใช้งานไม่ถูกวิธีหรือมีสมรรถภาพของระบบหายใจต่ำอาจส่งผลให้เกิดความท้อแท้และเบื่อหน่ายในการใช้งาน กล้ามเนื้อช่วยหายใจทำงานมากขึ้น (Accessory muscles of respiration) รวมถึงได้ประโยชน์จากการกระตุ้นกล้ามเนื้อหลักที่ใช้ในการหายใจลดลง เช่น กล้ามเนื้อกระบังลม (Diaphragm) และกล้ามเนื้อซี่โครง (Intercostal muscles)<sup>(14,15)</sup> การศึกษาระดับนี้จึงจัดทำ

ขึ้นเพื่อศึกษาการปรับการใช้งานอุปกรณ์ FIS ให้สามารถใช้งานได้ง่ายและได้ประโยชน์ใกล้เคียงกับ VIS มากขึ้น โดยทำการปิดช่องเปิดของท่อความจุ (Gate of capacity chamber) ในรูปแบบต่างๆ โดยทดสอบความดันลบที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ในการยกลูกบอล ลูกที่ 1 ของอุปกรณ์ให้ลอยตัวสูงขึ้น ซึ่งจะเป็นแนวทางในการทดลองกับผู้ใช้งานสุขภาพดีและผู้ป่วยที่มีสมรรถภาพของระบบหายใจต่ำในอนาคตต่อไป

### วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความดันลบที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ในการยกลูกบอลในท่อความจุที่ 1 ของอุปกรณ์ FIS ให้ลอยตัวสูงขึ้นจนสุดท่อ เมื่อปรับช่องเปิดของท่อความจุในรูปแบบที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานอุปกรณ์สำหรับผู้ป่วยที่มีสมรรถภาพของระบบหายใจต่ำ
2. ศึกษาความสัมพันธ์ของความดันลบที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ในการยกลูกบอลในท่อความจุที่ 1 ของอุปกรณ์ FIS ให้ลอยตัวสูงขึ้นจนสุดท่อ เมื่อทำการปรับช่องเปิดของท่อความจुरูปแบบต่างๆของอุปกรณ์ FIS แต่ละชนิด เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการใช้อุปกรณ์แต่ละชนิดได้อย่างเหมาะสม

### 2. วิธีการวิจัย

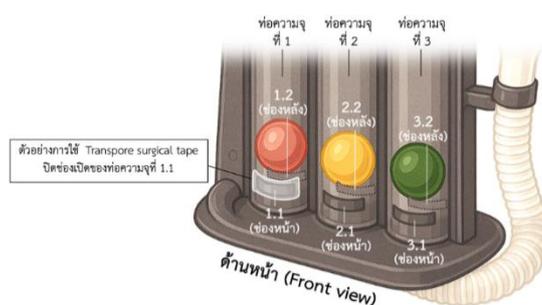
#### 2.1 การเตรียมอุปกรณ์ FIS และรูปแบบการปรับช่องเปิดของท่อความจุ

อุปกรณ์ FIS ที่ใช้ในการวิจัยประกอบไปด้วย 3 ชนิด เป็นชนิดที่พบได้บ่อยในการใช้งานในโรงพยาบาล ได้แก่ FIS ชนิดที่ 1 (FIS\_01) FIS ชนิดที่ 2 (FIS\_02) และ FIS ชนิดที่ 3 (FIS\_03) โดย FIS แต่ละชนิดมีลักษณะภายนอกคล้ายคลึงกัน ทั้งนี้ความแตกต่างที่พบในอุปกรณ์แต่ละชนิด ได้แก่ สีและขนาดของลูกบอล ขนาดของท่อความจุ ขนาดช่องเปิดของท่อความจุ และลักษณะของที่เป่าปาก ซึ่งอุปกรณ์ทั้ง 3 ชนิดมีแหล่งผลิตและยี่ห้อที่แตกต่างกัน (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 อุปกรณ์ FIS ทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ FIS ชนิดที่ 1 (FIS\_01) (ซ้าย), FIS ชนิดที่ 2 (FIS\_02) (กลาง), FIS ชนิดที่ 3 (FIS\_03) (ขวา) (ภาพจาก: ปฏิพล ก้าวงามพาณิชย์ และ กรวิชญ์ ลิขิต)

อุปกรณ์ FIS จะมีช่องเปิดของท่อความจุทั้งหมด 6 ช่อง ณ บริเวณด้านล่างของท่อความจุแต่ละท่อ แบ่งเป็นช่องเปิดทางด้านหน้า 3 ช่อง และช่องเปิดทางด้านหลัง 3 ช่อง โดยกำหนดชื่อเรียกของช่องเปิดแต่ละช่อง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ช่องเปิดของท่อความจุทั้งหมด 6 ช่อง ของอุปกรณ์ FIS ประกอบไปด้วย ช่องเปิดทางด้านหน้า 3 ช่อง และช่องเปิดทางด้านหลัง 3 ช่อง โดยแสดงตัวอย่างการปิดช่องเปิดของท่อความจุที่ 1.1 ด้วย Transpore surgical tape (ที่มา: ภาพจัดทำขึ้นโดย ปฏิพล ก้าวงามพาณิชย์ และ กรวิชญ์ ลิขิต โดยใช้ ChatGPT (OpenAI, สร้างเมื่อวันที่ 20 เมษายน 2568))

ผู้วิจัยกำหนดรูปแบบทั้งหมดที่เป็นไปได้ของการเปิดและปิดช่องของท่อความจุด้วย ChatGPT<sup>(16)</sup> โดยเรียงลำดับจากการปิดจำนวนช่องน้อยที่สุดไปจนถึงปิดจำนวนช่องมากที่สุด พบว่ามีรูปแบบที่แตกต่างกันทั้งหมด 64 รูปแบบ โดยกำหนดให้ 0=การปิดช่อง และ 1=การเปิดช่อง (ภาคผนวกที่ 1)

## 2.2 การเตรียมเครื่องปรับระดับความดันลบ (Negative pressure regulator)

ใช้เครื่อง Suction regulator with pipeline system (Model SRA2204, anodized aluminum body; Western Enterprises, Westlake, OH, USA) ที่ได้รับการสอบเทียบโดยผู้เชี่ยวชาญแล้ว (Calibration) เพื่อจำลองความดันลบที่ร่างกายสร้างขึ้นขณะหายใจเข้า สามารถปรับความดันลบได้ตั้งแต่ช่วง 0-200 มิลลิเมตรปรอท (mmHg) ผ่านการใช้มือหมุนทวนเข็มนาฬิกาเพื่อเพิ่มความดันลบ ผู้วิจัยทำการต่อเครื่องปรับความดันลบเข้ากับอุปกรณ์ FIS โดยใช้ Micropore surgical tape พันเชื่อมระหว่างสายซิลิโคนของเครื่องกับท่อนำอากาศ (Breathing tube) (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 เครื่องปรับความดัน Suction regulator with pipeline system (ซ้าย) และการต่อเครื่องปรับความดันลบเข้ากับอุปกรณ์ FIS (ขวา)  
(ภาพจาก: ปฏิพล ก้าวงามพาณิชย์ และ กรวิชญ์ ลิขิต)

## 2.3 การเก็บข้อมูลความดันลบที่น้อยที่สุดจากอุปกรณ์ FIS

ผู้วิจัยใช้ Transpore surgical tape ปิดช่องเปิดของท่อความจุในรูปแบบต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ในภาคผนวกที่ 1 จากนั้นใช้มือหมุนเปิดเครื่องปรับความดันลบด้วยความเร็วที่มากที่สุดเท่าที่ทำได้ เพื่อหาความดันลบที่น้อยที่สุดที่ทำให้ลูกบอลลูกที่ 1 ลอยขึ้นจนสุดท่อโดยใช้เวลาไม่เกิน 3 วินาที ทั้งหมด 3 ครั้ง ผู้ช่วยวิจัยจะเป็นผู้จับเวลาและบันทึกข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์ โดยทำการทดสอบซ้ำจนครบทุกรูปแบบของการปรับช่องเปิดของท่อความจุ (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 การเก็บข้อมูลความดันลบที่น้อยที่สุดจากอุปกรณ์ FIS  
(ที่มา: ปฏิพล ก้าวงามพาณิชย์ และ กรวิชญ์ ลิขิต)

### การวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical analysis)

ใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean  $\pm$  standard deviation) ในการรายงานค่าความดันโลหิตที่ต้องใช้ของอุปกรณ์ FIS แต่ละชนิด โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel version 16.97 (Microsoft Corp., Redmond, WA, USA) และใช้การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson's r Correlation Coefficient) เพื่อประเมินความสัมพันธ์ของค่าความดันโลหิตที่น้อยที่สุดของอุปกรณ์ FIS ทั้ง 3 ชนิด เมื่อปรับช่องเปิดของท่อความจุในรูปแบบต่างๆ โดยใช้โปรแกรม SPSS version 29.0.2 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) กำหนดให้ค่าความสัมพันธ์ตั้งแต่ 0.70-0.89 หมายถึง มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูง และ 0.9-1.0 หมายถึง มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูงมาก<sup>(17)</sup>

### 3. ผลการวิจัย

3.1 ความดันโลหิตที่น้อยที่สุดเมื่อใช้อุปกรณ์ FIS โดยไม่มีการปรับช่องเปิดของท่อความจุ

เมื่อทดสอบอุปกรณ์ FIS โดยไม่มีการปรับช่องเปิดของท่อความจุใด ๆ พบว่า ความดันโลหิตที่น้อยที่สุดที่ทำให้ลูกบอลลูกที่ 1 ลอยขึ้นจนสุดท่อมมีค่า 26-28 มิลลิเมตรปรอท ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าความดันโลหิตที่น้อยที่สุดเมื่อใช้อุปกรณ์ FIS โดยไม่มีการปรับช่องเปิดของท่อความจุ

ชนิดของอุปกรณ์	ความดันโลหิตที่ต้องใช้ (mmHg) (Mean $\pm$ standard deviation)
FIS_01	28.00 $\pm$ 0.00
FIS_02	26.00 $\pm$ 0.00
FIS_03	28.00 $\pm$ 0.00

3.2 ความดันโลหิตที่น้อยที่สุดเมื่อใช้อุปกรณ์ FIS โดยปรับช่องเปิดของท่อความจุในรูปแบบต่างๆ

เมื่อทดสอบอุปกรณ์ FIS โดยปรับช่องเปิดของท่อความจุทั้งหมด 64 รูปแบบพบว่า ความดันโลหิตที่น้อยที่สุดที่ทำให้ลูกบอลลูกที่ 1 ลอยขึ้นจนสุดท่อมมีค่า 10-12 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งอุปกรณ์ FIS\_01 และ FIS\_02 มีรูปแบบการปรับช่องเปิดของท่อความจุที่เหมือนกันเพื่อให้เกิดความดันโลหิตที่น้อยที่สุด โดยหากทำการปิดช่องเปิดทั้งหมดของท่อความจุที่ 2 และ 3 จะทำให้ใช้ความดันโลหิตที่น้อยที่สุดที่ทำให้ลูกบอลลูกที่ 1 ลอยขึ้นจนสุดท่อมเหมือนกันในอุปกรณ์ทั้ง 3 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าความดันโลหิตที่น้อยที่สุดเมื่อใช้อุปกรณ์ FIS โดยปรับช่องเปิดของท่อความจุในรูปแบบต่าง ๆ

ชนิดของอุปกรณ์	รูปแบบของการปรับช่องเปิดของท่อความจุ	จำนวนช่องที่ถูกปิด (ช่อง)	ความดันโลหิตที่ต้องใช้ (mmHg) (Mean $\pm$ standard deviation)
FIS_01	1.1= 1, 1.2= 1, 2.1= 0, 2.2= 0, 3.1= 0, 3.2= 0	4	12.00 $\pm$ 0.00
	1.1= 0, 1.2= 1, 2.1= 0, 2.2= 0, 3.1= 0, 3.2= 0	5	12.00 $\pm$ 0.00
	1.1= 1, 1.2= 0, 2.1= 0, 2.2= 0, 3.1= 0, 3.2= 0	5	12.00 $\pm$ 0.00
FIS_02	1.1= 1, 1.2= 1, 2.1= 0, 2.2= 0, 3.1= 0, 3.2= 0	4	10.00 $\pm$ 0.00
	1.1= 0, 1.2= 1, 2.1= 0, 2.2= 0, 3.1= 0, 3.2= 0	5	10.00 $\pm$ 0.00
	1.1= 1, 1.2= 0, 2.1= 0, 2.2= 0, 3.1= 0, 3.2= 0	5	10.00 $\pm$ 0.00
FIS_03	1.1= 1, 1.2= 1, 2.1= 0, 2.2= 0, 3.1= 0, 3.2= 0	4	10.00 $\pm$ 0.00
	1.1= 1, 1.2= 0, 2.1= 0, 2.2= 0, 3.1= 0, 3.2= 0	5	10.00 $\pm$ 0.00

หมายเหตุ: 0=ปิดช่องเปิดของท่อความจุ 1=เปิดช่องเปิดของท่อความจุ

### 3.3 ความสัมพันธ์ของค่าความดันโลหิตที่ต้องใช้ของอุปกรณ์ FIS ทั้ง 3 ชนิด

เมื่อปรับช่องเปิดของท่อความจุของอุปกรณ์ทั้ง 3 ชนิดพบว่า ความดันโลหิตน้อยที่สุดที่ทำให้ลูกบอลลูกที่ 1 ลอยขึ้นจนสุดท่อในแต่ละรูปแบบมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูงมาก ( $r=0.879-0.970$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.01$ ) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความดันโลหิตที่ต้องใช้ของอุปกรณ์ FIS ทั้ง 3 ชนิด

ความสัมพันธ์ (Correlation)	FIS_01	FIS_02	FIS_03
FIS_01	1	0.879*	0.970*
FIS_02	0.879*	1	0.928*
FIS_03	0.970*	0.928*	1

หมายเหตุ: \* $p<0.01$

### 3.4 ความดันโลหิตที่น้อยที่สุด 3 ลำดับ เมื่อใช้อุปกรณ์ FIS โดยปรับช่องเปิดของท่อความจุในรูปแบบต่างๆ

เมื่อเรียงลำดับความดันโลหิตที่น้อยที่สุดที่ทำให้ลูกบอลลูกที่ 1 ลอยขึ้นจนสุดท่อของอุปกรณ์ FIS ในแต่ละชนิดพบว่ารูปแบบของการปรับช่องเปิดของท่อความจุ จำนวนช่องที่ถูกปิด และความดันโลหิตที่ต้องใช้มีความแตกต่างกัน โดยทำการเรียงลำดับเพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับการนำไปใช้ในการศึกษาในอนาคต ดังแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงค่าความดันโลหิตที่น้อยที่สุด 3 ลำดับ เมื่อใช้อุปกรณ์ FIS โดยปรับช่องเปิดของท่อความจุในรูปแบบต่างๆ

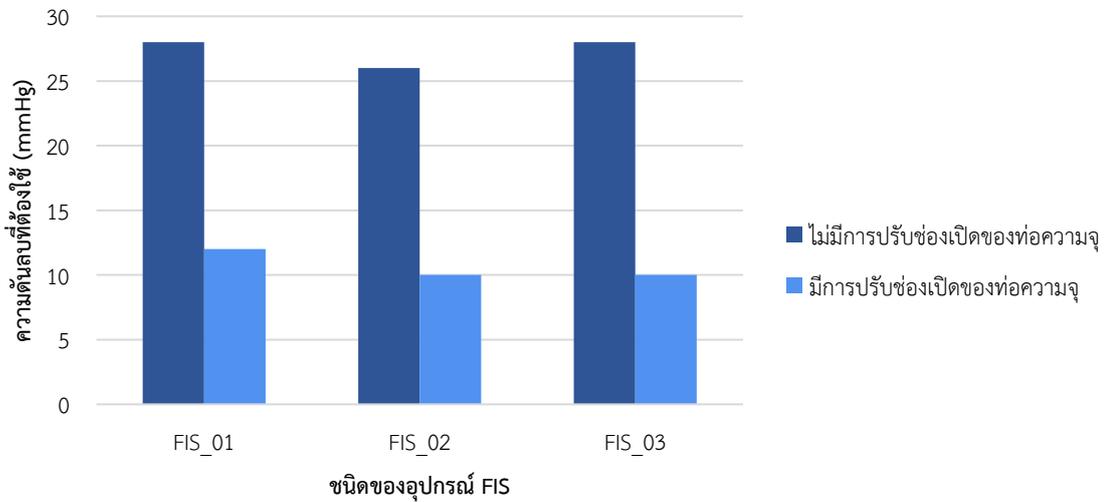
ชนิดของอุปกรณ์	ลำดับที่	รูปแบบของการปรับช่องเปิดของท่อความจุ	จำนวนช่องที่ถูกปิด	ความดันโลหิตที่ต้องใช้ (mmHg)	
				(ช่อง)	(Mean $\pm$ standard deviation)
FIS_01	1	1.1= 1, 1.2= 1, 2.1= 0, 2.2= 0, 3.1= 0, 3.2= 0	4		12.00 $\pm$ 0.00
	2	1.1= 1, 1.2= 1, 2.1= 1, 2.2= 0, 3.1= 0, 3.2= 0	3		20.00 $\pm$ 0.00
	3	1.1= 1, 1.2= 1, 2.1= 1, 2.2= 1, 3.1= 1, 3.2= 1	0		28.00 $\pm$ 0.00
FIS_02	1	1.1= 1, 1.2= 1, 2.1= 0, 2.2= 0, 3.1= 0, 3.2= 0	4		10.00 $\pm$ 0.00
	2	1.1= 1, 1.2= 1, 2.1= 0, 2.2= 0, 3.1= 0, 3.2= 1	3		18.00 $\pm$ 0.00
	3	1.1= 1, 1.2= 1, 2.1= 1, 2.2= 1, 3.1= 1, 3.2= 1	0		26.00 $\pm$ 0.00
FIS_03	1	1.1= 1, 1.2= 0, 2.1= 0, 2.2= 0, 3.1= 0, 3.2= 0	5		10.00 $\pm$ 0.00
	2	1.1= 1, 1.2= 0, 2.1= 0, 2.2= 0, 3.1= 0, 3.2= 1	4		18.00 $\pm$ 0.00
	3	1.1= 1, 1.2= 1, 2.1= 1, 2.2= 1, 3.1= 1, 3.2= 1	0		28.00 $\pm$ 0.00

หมายเหตุ: 0=ปิดช่องเปิดของท่อความจุ 1=เปิดช่องเปิดของท่อความจุ

## 4. อภิปรายผลการวิจัย

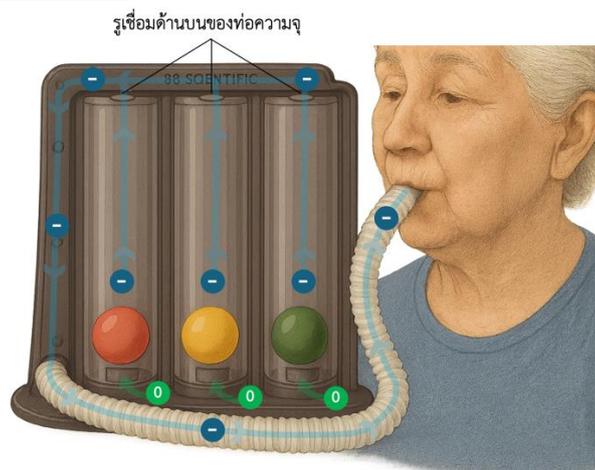
จากการศึกษาพบว่าเมื่อปิดช่องเปิดของท่อความจุที่ 2 และ 3 ของอุปกรณ์ FIS จะใช้ความดันโลหิตที่น้อยที่สุดที่ทำให้ลูกบอลลูกที่ 1 ลอยขึ้นจนสุดท่อน้อยลงถึง 2.2-2.8 เท่า เมื่อเทียบกับการใช้อุปกรณ์แบบปกติที่ไม่มีการปรับเปลี่ยนช่องเปิดความจุใดๆ (แผนภูมิที่ 1) อีกทั้งเมื่อทำการปรับช่องเปิดของท่อความจูปแบบต่างๆของอุปกรณ์ FIS ในแต่ละชนิดพบว่า มีแนวโน้มของความดันโลหิตที่น้อยที่สุดที่ทำให้ลูกบอลลูกที่ 1 ลอยขึ้นจนสุดท่อไปในทิศทางเดียวกัน

แผนภูมิที่ 1 เปรียบเทียบความดันลบที่น้อยที่สุดที่ทำให้ลูกบอลลูกที่ 1 ลอยขึ้นจนสุดท่อ ขณะใช้อุปกรณ์ FIS แบบไม่มีการปรับช่องเปิดของท่อความจุ และแบบมีการปรับช่องเปิดของท่อความจุ



เมื่อมนุษย์หายใจเข้าแบบปกติ กล้ามเนื้อกระบังลมและกล้ามเนื้อยี่ดระหว่างซี่โครงจะหดตัว ทำให้ปริมาตรในปอดเพิ่มมากขึ้น จากกฎของบอยล์ (Boyle's Law) พบว่าปริมาตรอากาศจะแปรผกผันกับความดันอากาศ<sup>(18)</sup> ดังนั้นขณะหายใจเข้าความดันอากาศในปอดและถุงลมจึงลดลง ส่งผลให้อากาศจะเคลื่อนที่จากภายนอกเข้าสู่ปอดได้ตามหลัก Pressure gradient (อากาศเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความดันสูงไปยังบริเวณที่มีความดันต่ำกว่า)<sup>(19)</sup>

ขณะหายใจเข้าผ่านทางที่เป่าปากของอุปกรณ์ FIS ความดันลบของปอดจะผ่านท่อนำอากาศไปยังบริเวณลูกบอลของท่อความจุต่างๆ ทำให้บริเวณด้านบนของท่อความจุมีความดันอากาศต่ำกว่าบริเวณด้านล่างของท่อความจุ (บริเวณช่องเปิดของท่อความจุ) ส่งผลให้อากาศในท่อถูกดูดและลูกบอลถูกยกให้ลอยสูงขึ้นได้ โดยหากปรับให้ความดันลบมากขึ้นจะทำให้ลูกบอลในท่อความจุที่ 1 ถูกยกให้ลอยขึ้นจนสุดท่อและปิดรูเชื่อมด้านบนของท่อความจุที่ 1 ความดันลบจึงส่งผ่านไปยังท่อความจุนั้นๆเพิ่มขึ้น ลูกบอลในท่อความจุที่ 2 และ 3 จึงถูกยกให้ลอยขึ้นตามลำดับ (ความดันลบที่ใช้ในการยกลูกบอลแต่ละลูกมีความแตกต่างกัน ขึ้นกับขนาดและน้ำหนักของลูกบอลแต่ละลูก) (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 กลไกการทำงานของอุปกรณ์ FIS โดยอาศัยความแตกต่างของความดันบริเวณด้านบนและด้านล่างของท่อความจุ (ที่มา: ภาพจัดทำขึ้นโดย ปฏิพล ก้าวงามพาณิชย์ และ กรวิชญ์ ลิขิต โดยใช้ ChatGPT (OpenAI, สร้างเมื่อวันที่ 20 เมษายน 2568))

เป้าหมายของการใช้อุปกรณ์ FIS คือ การกระตุ้นการขับเสมหะและลดภาวะปอดแฟบ โดยความดันลบที่เกิดขึ้นในปอดขณะหายใจเข้าจะต้องนานเพียงพอ เพื่อเปิดถุงลมที่แฟบอยู่ผ่านทางช่องทางเดินอากาศสำรอง (Collateral ventilation pathway) ได้แก่ Inter-alveolar pore of Kohn และ Bronchio-alveolar canal of Lambert ทดแทนท่อลมเดิมที่มีเสมหะอุดกั้น ดังนั้นขณะใช้อุปกรณ์ FIS จึงควรหายใจเข้าต่อเนื่องโดยไม่กลั้นหายใจ (Opened glottis) ให้เกิดความดันลบให้นานที่สุดหรืออย่างน้อย 5-15 วินาที<sup>(1,13)</sup> เมื่อถุงลมที่แฟบถูกเปิดออก อากาศจะพยายามไหลออกผ่านทางท่อลมปกติ ซึ่งเป็นกลไกที่ช่วยขับเสมหะที่ติดค้างบริเวณท่อลมให้เคลื่อนออกได้ดีขึ้นด้วย

ปัจจุบันผู้ใช้งานอุปกรณ์ FIS หลายรายเกิดความเข้าใจผิดในการใช้งาน เนื่องจากพยายามหายใจเข้าอย่างรวดเร็วเพื่อยกลูกบอลให้ลอยขึ้นทั้งสามลูก ส่งผลให้ระยะเวลาในการหายใจเข้าในแต่ละครั้งสั้นลง การเปิดถุงลมที่แฟบอยู่ผ่านทางช่องทางเดินอากาศสำรองจึงไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นการใช้งานอุปกรณ์ที่เหมาะสมควรหายใจเข้าโดยยกลูกบอลในท่อความจุที่ 1 เท่านั้น ซึ่งผู้เชี่ยวชาญแนะนำว่าควรหายใจเข้าที่อัตราเร็วไม่น้อยกว่า 200 มิลลิลิตรต่อวินาที ติดต่อกัน 5-10 ครั้งในแต่ละชั่วโมงที่ตื่นนอน เพื่อช่วยลดและป้องกันภาวะปอดแฟบได้อย่างมีประสิทธิภาพ<sup>(13)</sup>

การปิดช่องเปิดของท่อความจุที่ 2 และ 3 ทำให้ความแตกต่างของความดันอากาศในท่อความจุที่ 1 มากกว่าเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้งานแบบปกติที่ไม่มีการปรับเปลี่ยนช่องเปิดความจุใดๆ เนื่องจากในท่อความจุที่ 2 และ 3 จะไม่มี ความแตกต่างของความดันอากาศภายในท่อ ส่งผลให้ลูกบอลในท่อความจุที่ 1 ถูกยกสูงขึ้นได้ง่ายกว่าและใช้ความดันลบจากเครื่องปรับระดับความดันลบน้อยกว่าอุปกรณ์แบบปกติ ทั้งนี้อัตราเร็วลมที่ใช้ในการยกลูกบอลที่เกิดขึ้นอาจมีค่าลดลงและไม่เป็นไปตามที่ระบุไว้บนท่อความจุของอุปกรณ์ FIS

ถึงแม้ว่าอุปกรณ์ FIS ทั้งสามชนิดจะมีขนาด ลักษณะ ยี่ห้อ และแหล่งผลิตของอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน ผลการศึกษากลับพบว่าความดันลบที่น้อยสุดที่ทำให้ลูกบอลลูกที่ 1 ลอยขึ้นจนสุดท่อเมื่อปรับช่องเปิดของท่อความจุในรูปแบบต่างๆ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน จึงสามารถอนุมานได้ว่าอุปกรณ์ FIS มีหลักการในการทำงานที่เหมือนกันในแต่ละยี่ห้อ และสามารถปรับช่องเปิดของท่อความจุเพื่อให้ความดันลบที่ต้องใช้ลดลงได้ โดยไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างกันในแง่ของวัตถุประสงค์การใช้งาน

การศึกษานี้เป็นการศึกษาแรกๆ ที่ทำการปรับอุปกรณ์ FIS ด้วยการปรับช่องเปิดความจุ เพื่อพัฒนาการใช้งานให้เกิดประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสมรรถภาพปอดมากขึ้น ส่งผลให้ผู้ใช้งานที่มีสมรรถภาพของระบบหายใจต่ำหรือมีภาวะระบบหายใจล้มเหลว (Respiratory failure) สามารถฝึกหายใจโดยลดภาวะปอดแฟบและขับเสมหะได้ดีขึ้น ทั้งนี้การศึกษานี้ทำการศึกษาความดันลบผ่านทางเครื่องปรับระดับความดันลบ จึงไม่สามารถวัดประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นจริงกับมนุษย์ได้ จึงควรนำผลจากการศึกษานี้ไปใช้ในการทดลองจริงกับผู้ใช้งานสุขภาพดีและผู้ป่วยที่มีสมรรถภาพของระบบหายใจต่ำ เพื่อให้เกิดการพัฒนาการฟื้นฟูระบบหายใจที่มีประสิทธิภาพสูงสุดกับผู้ใช้งาน นำไปสู่การฝึกอบรมผู้ใช้งานและการปรับปรุงแนวทางปฏิบัติทางคลินิกในอนาคตต่อไป

## 5. เอกสารอ้างอิง

- 1) Restrepo RD, Wettstein R, Wittnebel L, Tracy M. Incentive spirometry: 2011. *Respiratory care* 2011;56(10):1600-4. DOI: 10.4187/respcare.01471. PMID: 22008401.
- 2) Hristara-Papadopoulou A, Tsanakas J, Diomou G, Papadopoulou O. Current devices of respiratory physiotherapy. *Hippokratia* 2008;12(4):211-20. PMID: 19158964;PMCID: PMC2580042.
- 3) Westwood K, Griffin M, Roberts K, Williams M, Yoong K, Digger T. Incentive spirometry decreases respiratory complications following major abdominal surgery. *The Surgeon* 2007;5(6):339-42. DOI:10.1016/s1479-666x(07)80086-2. PMID: 18080608.
- 4) Shin JC, Han EY, Cho KH, Im SH. Improvement in pulmonary function with short-term rehabilitation treatment in spinal cord injury patients. *Scientific Reports* 2019;9(1):17091. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52526-6>
- 5) Franklin E, Anjum F. Incentive spirometer and inspiratory muscle training. *StatPearls [Internet]: StatPearls Publishing; 2023. PMID: 34283480.*

- 6) Levitzky MG. *Mechanics of Breathing*. Pulmonary Physiology, 9e. New York, NY: McGraw-Hill Education; 2017.
- 7) Mendes LP, Teixeira LS, da Cruz LJ, Vieira DS, Parreira VF. Sustained maximal inspiration has similar effects compared to incentive spirometers. *Respiratory Physiology & Neurobiology* 2019;261:67-74. DOI: 10.1016/j.resp.2019.01.006. PMID: 30654164.
- 8) Lunardi AC, Porras DC, Barbosa RC, Paisani DM, da Silva CCM, Tanaka C, et al. Effect of volume-oriented versus flow-oriented incentive spirometry on chest wall volumes, inspiratory muscle activity, and thoracoabdominal synchrony in the elderly. *Respiratory Care* 2014;59(3):420-6. DOI: 10.4187/respcare.02665. PMID: 23983269.
- 9) Amin R, Alaparthy GK, Samuel SR, Bairapareddy KC, Raghavan H, Vaishali K. Effects of three pulmonary ventilation regimes in patients undergoing coronary artery bypass graft surgery: a randomized clinical trial. *Scientific Reports* 2021;11(1):6730. DOI: 10.1038/s41598-021-86281-4. PMID: 33762655; PMCID: PMC7990944.
- 10) Parreira V, Tomich G, Britto R, Sampaio R. Assessment of tidal volume and thoracoabdominal motion using volume and flow-oriented incentive spirometers in healthy subjects. *Brazilian journal of medical and biological research* 2005;38:1105-12. DOI: 10.1590/s0100-879x2005000700014. PMID: 16007282.
- 11) Tomich G, França D, Diório A, Britto R, Sampaio R, Parreira V. Breathing pattern, thoracoabdominal motion and muscular activity during three breathing exercises. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 2007;40:1409-17. DOI: 10.1590/s0100-879x2006005000165. PMID: 17713643.
- 12) Weindler J, Kiefer R-T. The efficacy of postoperative incentive spirometry is influenced by the device-specific imposed work of breathing. *Chest* 2001;119(6):1858-64. DOI: 10.1378/chest.119.6.1858. PMID: 11399715.
- 13) ทนชัย บุญบุรพงค์. การบำบัดเพื่อให้ปอดขยายตัว. การบำบัดระบบหายใจในเวชปฏิบัติ. กรุงเทพฯ: ชอระกา การพิมพ์; 2556. 164-172.
- 14) Chang AT, Palmer KR, McNaught J, Thomas PJ. Inspiratory flow rate, not type of incentive spirometry device, influences chest wall motion in healthy individuals. *Physiotherapy theory and practice* 2010;26(6):385-92. DOI: 10.3109/09593980903423210. PMID: 20658924.
- 15) Alaparthy GK, Augustine AJ, Anand R, Mahale A. Comparison of diaphragmatic breathing exercise, volume and flow incentive spirometry, on diaphragm excursion and pulmonary function in patients undergoing laparoscopic surgery: a randomized controlled trial. *Minimally invasive surgery* 2016;2016(1):1967532. DOI: 10.1155/2016/1967532. PMID: 27525116; PMCID: PMC4972934.
- 16) OpenAI. ChatGPT: OpenAI; 2025 [updated 2025-04-21. Accessed April 21, 2025: Available from: <https://openai.com/chatgpt/overview/>.
- 17) P S, C B, LA S. Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. *Anesthesia & Analgesia* 2018;126(5):1763-68. DOI: 10.1213/ANE.0000000000002864. PMID: 29481436.
- 18) Chang R. *Chemistry*. 10th ed. ed: McGraw-Hill Education; 2010.
- 19) บัรรอง ลีฉลิมวงศ์. ระบบหายใจ. ใน: บัรรอง ลีฉลิมวงศ์, บรรณาธิการ. สรีรวิทยา เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล; 2557. 207-26