

Original Article

Design and production of a learning tool for training opportunities related to mechanical ventilation simulator: Lung Box

Mohsen Foadoddini ¹ Mansoor Soltani ^{2*}

ABSTRACT

Background and Aims: Simulation-based medical education is effective for developing and improving critical care-related clinical skills training and reducing patient safety threats. The present study aimed to describe the technological approach of building and evaluating a prototype of a Lung Box (LB) mechanical ventilation simulator.

Materials and Methods: In this practical study with an analytical approach, the device's body, constructed from 5 mm plexiglass sheets, occupies a respiratory circuit, an airflow obstruction system, a pressure gauge manometer, a spring-loaded manual system to apply limits on the bag inflation range, a tidal volume measurement system, a respiratory trigger simulator system and a four-layer accordion-style plastic bag assembly that can be inflated and deflated with air. Additionally, there is a user manual storage box along with it.

Results: The design and drawing of the device's map were performed with AutoCAD software, and the parts were assembled after laser cutting. The device was connected to the ICU ventilator, and the respiratory mode of continuous forced ventilation was selected. Prior to ventilation, the tidal volumes were selected to be 0.60, 0.55, 0.50, 0.45, and 0.40 ml, and respiratory rates were set as 18, 15, 12, and 9 bpm. The simulation of the respiratory trigger was performed with different values of flow sensitivity (0.05-15 lit/min). There was no statistically significant difference ($P>0.05$) in terms of the reproducibility of the values of the selected variables for the test Lung (TL) with those chosen for LB.

Conclusion: In this technical study, a prototype educational mechanical ventilation simulator was developed and functionally tested using the concepts of fluid dynamics and respiratory physiology. Compared with conventional TL, this device is accurate and efficient enough.

Keywords: Lung, Mechanical ventilation, Simulator, Training



Citation: Mohsen Foadoddini, Mansoor Soltani. [Design, and production and assessment of a learning tool for training opportunities related to mechanical ventilation simulator training opportunities: Lung Box]. J Birjand Univ Med Sci. 2024; 31(1): 38-47. [Persian]

DOI [10.61186/JBUMS.31.1.38](https://doi.org/10.61186/JBUMS.31.1.38)

Received: April 6, 2024

Accepted: May 5, 2024

¹ Cardiovascular Diseases Research Center, Faculty of Medicine, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran

² Department of Anesthesia Nursing, Cardiovascular Diseases Research Center, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran

*Corresponding author: Department of Anesthesia Nursing, Cardiovascular Diseases Research Center, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran

Tel: +989151640349

Fax: +985632381604

E-mail: mscn63@yahoo.com

طراحی و ساخت ابزار یادگیری برای فرصت‌های آموزشی تهویه مکانیکی: Lung Box

محسن فؤادالدینی^۱، منصور سلطانی^{۲*}

چکیده

زمینه و هدف: آموزش پزشکی مبتنی بر شبیه‌سازی برای توسعه و اصلاح آموزش مهارت‌های بالینی مرتبط با مراقبت‌های ویژه و همچنین کاهش تهدید ایمنی بیمار مؤثر است. هدف از این مطالعه بیان فرایند فن‌آورانه ساخت و نیز ارزیابی نمونه پروتوتایپ یک شبیه‌ساز تهویه مکانیکی (Lung Box) را بیان می‌دارد.

روش تحقیق: در این مطالعه کاربردی با رویکرد تحلیلی، پیکره وسیله یک سازه از ورق‌های پلکسی گلس ۵mm برش‌خورده است، که مدار تنفسی، مجموعه بگ پلاستیکی آکاردئونی چهارلایه با قابلیت پروخالی شونده از هوا، سامانه دستی فنری جهت اعمال محدودیت دامنه پرشوندگی بگ‌ها، مانومتر فشارسنج، سامانه اعمال انسداد در جریان هوا، سامانه شبیه‌ساز تریگر تنفسی، سامانه سنجش حجم جاری و جعبه حاوی شیوه‌نامه به‌کارگیری شبیه‌ساز بر روی آن قرار گرفته‌است.

یافته‌ها: طراحی و ترسیم نقشه با نرم‌افزار اتوکد اجرا و پس از برش لیزری، قطعات وصل شدند. دستگاه به ونتیلاتور ICU وصل شد و حالت تنفسی تهویه اجباری مداوم انتخاب‌گردید. حجم جاری در مقادیر ۰/۶۰، ۰/۵۵، ۰/۵۰، ۰/۴۵، ۰/۴۰ لیتر و تعداد تنفس bpm ۱۸، ۱۵، ۱۲، ۹ انتخاب و سپس تهویه صورت‌پذیرفت. شبیه‌سازی تریگر تنفسی با مقادیر متنوع حساسیت جریانی (۱۵- lit/min) صورت‌گرفت. تکرارپذیری مقادیر متغیرهای منتخب برای تست لانگ (TL) با (LB) فاقد اختلاف آماری معنادار بود ($P > 0.05$).

نتیجه‌گیری: در این پژوهش فن‌آورانه، با به‌کارگیری قوانین فیزیولوژی تنفسی و اصول دینامیک سیالات، نمونه پروتوتایپ شبیه‌ساز آموزشی تهویه مکانیکی ساخته و مورد آزمایش کارکردی قرار گرفت. این وسیله دارای کارایی و دقت کافی در مقایسه با TL متعارف را دارد.

واژه‌های کلیدی: ریه، تهویه مکانیکی، شبیه‌ساز، آموزش

مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی بیرجند. ۱۴۰۳؛ ۳۱(۱): ۳۸-۴۷.

دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۸ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۶

^۱ مرکز تحقیقات بیماری‌های قلب و عروق، گروه فیزیولوژی، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، بیرجند، ایران

^۲ کارشناس ارشد مراقبت‌های ویژه پرستاری، مرکز تحقیقات بیماری‌های قلب و عروق و گروه هوشبری، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، بیرجند، ایران

***نویسنده مسئول:** کارشناس ارشد مراقبت‌های ویژه پرستاری، مرکز تحقیقات بیماری‌های قلب و عروق، گروه هوشبری، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، بیرجند، ایران

آدرس: بیرجند- دانشگاه علوم پزشکی بیرجند- دانشکده پیراپزشکی - گروه هوشبری

تلفن: ۰۹۱۵۱۶۴۰۳۴۹ نامبر: ۰۵۶۳۲۳۸۱۶۰۴ پست الکترونیکی: soshia81msn@gmail.com

مقدمه

صلاحیت بالینی در مراقبت‌های مرتبط با تهویه مکانیکی^۱ چالش برانگیز است، زیرا مستلزم ادغام دانش فیزیولوژیکی و فناوری باتفکر انتقادی می‌باشد (۱). درک تعامل بیمار- ونتیلاتور برای به حداقل رساندن خطرات و خطاهای درمان‌زاد مانند باروتروما، پنومونی مرتبط با ونتیلاتور^۲ و مرگ ضروری است. همچنین نظریه افزایش تعداد بیماران تحت تهویه مکانیکی که خارج از آی‌سی‌یو بستری می‌باشند، درمانگران شاغل در این بخش‌ها نیز نیاز به فراگیری مهارت‌های ویژه در این زمینه دارند (۲).

آموزش پزشکی مبتنی بر شبیه‌سازی^۳ یک یادگیری فعال با الزام فراگیر به عملکردی معنادار است که سبب آموزش هدفمند و ایجاد تفکر نقادانه پیرامون فعالیت‌های صورت گرفته می‌شود (۳). این روش برای توسعه و اصلاح آموزش مهارت‌های بالینی مرتبط با مراقبت‌های ویژه، رویه‌های تهجمی و مراقبت در شرایط بحرانی مؤثر است (۴). آموزش پزشکی مبتنی بر شبیه‌سازی شامل فرآیند دستیابی به اهداف آموزشی از طریق یادگیری تجربی است. دستگاه‌های شبیه‌ساز در سطوح مختلف آموزش مراقبت‌های درمانی استفاده شده و صدور گواهینامه آموزش صورت می‌گیرد (۵).

شبیه‌سازهای پزشکی را می‌توان به انواع همگردان محور^۴ و انواع رویداد محور^۵ طبقه‌بندی نمود. فرهیختار^۶ کاترئیزاسیون ادراری، سردیس مراقبت راه هوایی از شبیه‌سازهای همگردان محور هستند. شبیه‌سازهای رویداد محور شامل انواع بیماران استاندارد، بازیگران مراقبت‌ساز^۷ و شبیه‌سازهای مبتنی بر کامپیوتر می‌باشند (۶). فناوری‌های واقعیت ترکیبی (XR/ MR) مانند واقعیت مجازی (VR) یا واقعیت افزوده (AR) در شبیه‌سازی بالینی گسترش یافته‌اند که تا حدودی به دلیل تقاضا برای فناوری‌های یادگیری مبتنی بر راه دور ناشی از همه‌گیری COVID19 است (۷).

یکی از مهم‌ترین مراحل تدوین کوریکولوم درسی دانشجویان علوم پزشکی، گنجایش و ارایه آموزش و یادگیری مبتنی بر

شبیه‌سازی است (۸). اصل "مخروط تجربه"^۸ ادگار دیل تأکید دارد در ابزارآلات آموزشی مانند شبیه‌ساز که تجارب یادگیری ملموس‌تر است، حواس بیشتری از قبیل دیدن، شنیدن، لمس کردن و احساس کردن درگیر فرایند یادگیری می‌شوند. شبیه‌سازی یک محیطی امن برای تفکر و درس‌گرفتن از اشتباهات را بدون تهدید هویت حرفه‌ای، فراهم می‌کند (۹). در استفاده از روش آموزش پزشکی مبتنی بر شبیه‌سازی، فراگیر می‌تواند اشتباه کند و بدون ترس از آسیب‌رساندن به بیمار از آن درس بگیرد (۱۰) آموزش ونتیلاتور بر بالین بیمار در بخش آی‌سی‌یو سبب بیش‌باری حسی و تشدید سایکوز بیمار می‌شود. مریبان نیز دچار چالش وجدانی^۹ می‌شوند (۱۱).

از مهم‌ترین نیروهای محرک برای توسعه شبیه‌سازها در عرصه مراقبت‌های تنفسی، افزایش بروز بیماری‌های ریوی در بین جمعیت جهان است. سازمان همکاری اقتصادی و توسعه^{۱۰} گزارش داده‌است که ۱/۶٪ از جمعیت ۱۵ ساله و بالاتر اروپا از آسم رنج می‌برند آسم و نارسایی انسدادی مزمن ریه^{۱۱} تأثیر منفی بر توانایی یک فرد در انجام تنفس داشته و کیفیت زندگی فرد را کاهش می‌دهند (۱۲).

بر اساس نتایج پژوهش‌ها استفاده از آموزش پزشکی مبتنی بر شبیه‌سازی می‌تواند ایمنی بیمار را بهبود بخشیده و هزینه‌های مراقبت‌های بهداشتی را کاهش دهد (۸).

روش تحقیق

متدولوژی فعالیت دانش پژوهی پیش‌رو مبتنی بر فرمت متعارف مقالاتی بین‌المللی تکنیکال (۱۳ و ۱۴) و شامل موارد زیر است:

مبانی دانشی انگیزشی

شبیه‌سازهای تنفسی شامل سه جزء اصلی بافت ریوی، ساختمان قفسه صدری و راه‌های هوایی متصل‌شونده به مدار تهویه مکانیکی می‌باشند. این اجزا از نظر شکل ظاهری به دو صورت نیم‌تنه یا تمام‌تنه انسان نما و یا به صورت باکس مانند طراحی و ساخته می‌شوند.

¹ Mechanical Ventilation (MV)

² VAP

³ Simulation Based Medical Education

⁴ Compiler Driven

⁵ Event Driven

⁶ Trainer

⁷ Care actors

⁸ Pyramid Learning

⁹ Moral Challenge

¹⁰ OECD

¹¹ COPD

مدل پایه تهویه‌ای^۱

آشکارسازی^۳ عینی تمامی قوانین فیزیکی سیالات مطروحه در مبحث فوق در قالب مدل پیشنهادی سیستم زیر ارائه گردیده است.

مدل پیشنهادی سیستم

بیکره وسیله متشکل از یک سازه از ورق‌های پلکسی‌گلس برش‌خورده است، که مدار تنفسی شامل بگ پلاستیکی آکادئونی چهارلایه به قطر ۲mm و ابعاد ۱۴x۲۱ cm، سامانه دستی فنی اعمال محدودیت دامنه پرشوندگی بگ‌ها^۴، مانومتر فشارسنج، سامانه دستی اعمال انسداد جریان هوا^۵ سامانه دستی شبیه‌ساز تریگر تنفسی^۶ فنرها و واشرهای تعلیق‌کننده مجموعه بگ‌ها، سامانه عقربه‌ای سنجش حجم جاری و باکس حاوی شیوه‌نامه به‌کارگیری این شبیه‌ساز بر روی آن هم‌گذاری^۷ شده است. یازده فرصت آموزشی مبتنی بر اصول فیزیولوژی تهویه و کار با ونتیلاتور در استفاده از این وسیله شبیه‌سازی شده است.

برگشت بگ تهویه (بازدم) به حالت اولیه^۸ در این شبیه‌ساز پاسیو بوده و توسط سیستم فنی انجام می‌شود. بگ بین دو صفحه ثابت فوقانی و صفحه متحرک تحتانی قرار دارد. صفحه تحتانی در دو طرف توسط دو قطعه مثلی و ۲ عدد بولبرنگ به بدنه اصلی جانبی وصل شده و با دامنه حرکات رفت و برگشتی ۳۰ درجه شناور است. فنرها توسط ۲ میله عرضی کشیده شده‌اند. میله دوم عرضی شناور بوده و توسط یک میله با قابلیت پیچش عمود بر آن به جلو و عقب حرکت داده می‌شود و با کشش فنرها مقاومت و کمپلیانس ریه‌ها کم و زیاد می‌شود.

دو فنر استفاده شده در شبیه‌ساز موازی و به طول ۸/۰m می‌باشند. در یک آزمایشگاه استاندارد مکانیک با استفاده از فرمول هوک برای فنرهای هم‌ارز این شبیه‌ساز ضریب سختی یا ثابت فنر (K) برابر ۱۳۶۰ نیوتن متر تعیین گردید (۱۷).

چهار جنبه مهم مکانیک تنفسی شامل اتساع‌پذیری بافت ریه، اتساع‌پذیری دیواره قفسه سینه، تعداد تنفس و مقاومت راه هوایی می‌باشد. توصیف‌گرهای عملکرد تنفسی فوق با ایجاد فشار منفی در داخل ریه‌ها و فضای پلور، اجازه می‌دهند هوا به داخل ریه‌ها مکیده شود. همچنین کاهش حجم ریه باعث افزایش فشار درون ریه‌ها و خروج هوا می‌شود. شکل‌گیری جریان گردابی و خاصیت الاستیک بافت ریه سبب ایجاد مقاومت در برابر عبور هوا می‌گردد. به‌طور کلی نیروهای الاستیک (FEL) و مقاومتی (FR) سبب اتلاف نیروی پیشرونده جریان می‌شوند. خاصیت الاستیک، توجیه‌گر برگشت ریه متسع‌شده به شکل اولیه پس از حذف نیروی رانشی هوا می‌باشد.

مقاومت راه هوایی در واقع تغییر در فشار ترانس‌پولمونر برای تولید جریان هوا از طریق مجاری هوایی بافت ریه است. به بیان ریاضی شامل تفاوت فشار راه هوایی در سطح دهان با آلونول‌های ریه تقسیم بر میزان جریان می‌باشد. فشار ترانس‌پولمونر (PL) یا (PTP) یا فشار ترانس‌آلونولار، اختلاف فشار بین فضای آلونولی و فضای پلورال (Ppl) است. این فشار برای حفظ گشودگی آلونول‌ها مورد نیاز است. (۱۵):

$$PL = Palv - Ppl$$

الاستین با مؤلفه‌های فشار (P) و حجم (V) و رزیستانس نیز با فشار و جریان آهوا مرتبط است

$$E = (\Delta \text{transthoracic pressure}) / \Delta \text{volume}$$

مقاومت نیز ارتباط غیرمستقیم با جریان دمی دارد. یعنی هرچه شدت جریان بیشتر شود، مقاومت کمتری نسبت به عبور آن وجود خواهد داشت.

$$R = (\Delta \text{Airway pressure}) / \Delta \text{flow}$$

اتساع‌پذیری ریه (C) ارتباط مستقیم با تغییرات حجم زمان دم دارد و بازه نرمال آن در فرد بالغ و سالم معادل ۱/۴ l/cmH₂O -۰/۱ می‌باشد (۱۶).

$$C = \Delta \text{volume} / (\Delta \text{transthoracic pressure})$$

³ Manifestation

⁴ Bags Inflation Restrictor

⁵ Airway Flow Obstructer

⁶ Respiration Trigger

⁷ Assemble

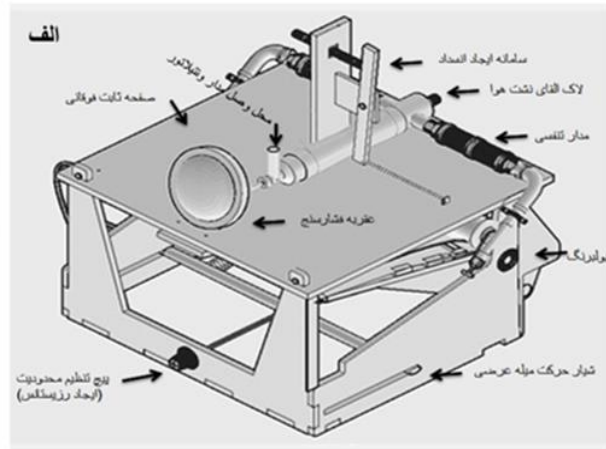
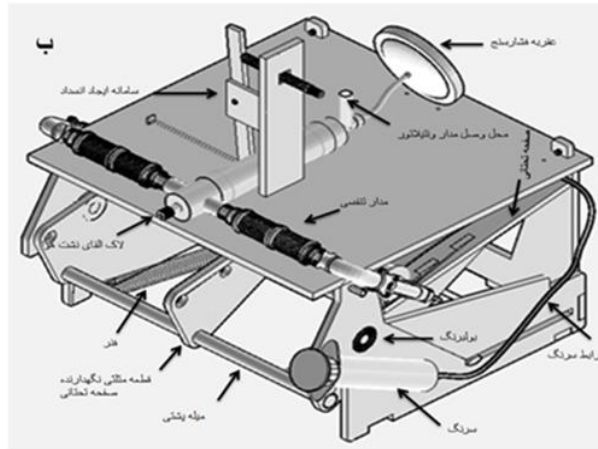
⁸ Recoiling

1 Fundamental Model of ventilation

2 Flow

بازدمی به درون بگها می شود. فلو سنسور ونتیلاتور این وضعیت را به کوشش تنفسی بیمار تعبیر کرده و یک تنفس اشتراکی عرضه می گردد.

سنجش فشار مدار شامل یک مانومتر پنوماتیک عقربه‌یی است که توسط بست پلاستیکی محکم به مدار تنفسی وصل و درزگیری شده است (شکل ۱).



شکل ۱- الف: نمای نیمرخ قدیمی تصویر نرم‌افزاری اتوکد لانگ‌باکس ب: نمای نیمرخ خلفی تصویر نرم‌افزاری اتوکد لانگ‌باکس

مقادیر ذکر شده صورت پذیرفت. شبهه‌سازی تریگر تنفسی با مقادیر متنوع حساسیت جریانی^۲ (۰/۱۵-۰/۵ lit/min) صورت گرفت. مقادیر بیشینه فشار راه هوایی (Ppeak)، فشار میانگین راه هوایی (P main)، حجم دقیقه‌ای^۳ (MV)، بیشینه جریان^۴ (PF) و جریان بازدمی^۵ (EF) نمایشگری دیجیتال ونتیلاتور در دو مدل شبهه‌ساز ریه لانگ باکس و تست لانگ مقایسه گردیده و برای هر مقدار یادداشت شد.

داده‌ها با کمک نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ (Version 25, IBM Corporation, Armonk, NY) و توسط آزمون آماری t زوجی تجزیه و تحلیل شدند.

$$F = KX$$

$$34 = k \times 0.025 \rightarrow K = 34 \div 0.025 \rightarrow K = 1360 \text{ nm}$$

ایجاد تریگر توسط یک سامانه ساده شامل یک سوند فولی شماره ۱۶ وصل به یک سرنگ ۶۰ml صورت می‌گیرد. با بادکردن بالون بین دو صفحه فاصله افتاده و این فاصله باعث برگشت جریان

پس از تکمیل و ساخت نمونه پروتوتایپ با استفاده از ونتیلاتور ICU آزمون‌های نهایی بررسی کارایی لانگ‌باکس^۱ صورت گرفت. برای تأیید اثربخشی رویکرد شبهه‌ساز، متغیرهای فیزیولوژی ریه طبیعی یک فرد ۷۵ کیلوگرمی با کمپلینس و مقاومت نرمال انتخاب گردید و با دستگاه ونتیلاتور استاندارد ICU کالیبره گردید. شبهه‌ساز و تست لانگ بطور جداگانه و طی یک توالی زمانی به ونتیلاتور مورد نظر وصل شد (شکل ۲). قبل از اتصال به شبهه‌ساز و تست لانگ، آزمون کالیبراسیون ونتیلاتور انجام و با موفقیت پاس شد. مد تنفسی مورد استفاده (VCV)CMV انتخاب گردید. این مد تنفسی مبتنی بر حجم بیشترین مد تهویه مورد استفاده در ICU می‌باشد. در این مد علاوه بر تنفس‌های اجباری کنترل‌ه، بیمار فرصتی برای تنفس‌های کمکی بر اساس تنظیم حساسیت کوشش تنفسی را نیز دارد. حجم جاری (VT) نیز در مقادیر ۰/۴۵، ۰/۵۰، ۰/۵۵، ۰/۶۰ lit و تعداد تنفس (RR) ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸bpm انتخاب و تهویه با

^۱ Bench test

^۲ Flow sensitivity

^۳ Minute Volume

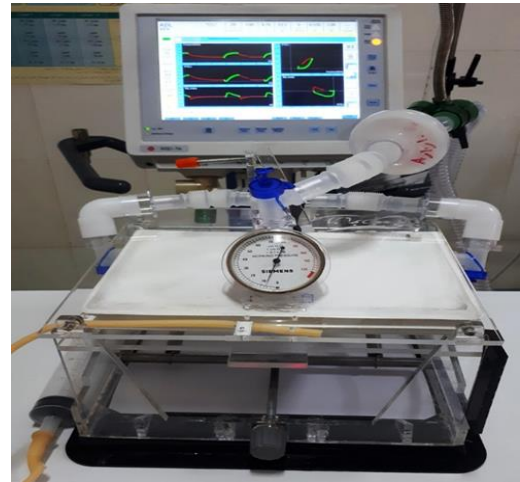
^۴ Peak Flow

^۵ ExpirationFlow

یافته‌ها

مقایسه مدل ریاضی و شبیه‌سازی تنفس لانگ باکس و تست لانگ برای سنجش‌های منتخب بسامد تنفسی، حجم و فشار راه هوایی در یک بازه زمانی ۴ دقیقه (کل سنجش‌ها ۲۰ بار) صورت پذیرفت. ساز و کار ونتیلاتور در مورد نسبت دم به بازدم برابر $R_{IE}=1:2$ و PEEP معادل $4\text{cmH}_2\text{O}$ اعمال شد (جدول ۱).

مقایسه تکرارپذیری متغیرهای منتخب بسامد تنفسی، حجم و فشار راه هوایی تست لانگ (روش متعارف) و شبیه‌سازی لانگ باکس نشان داد، ارایه پروفایل فشار، حجم و جریان در نمایشگر ونتیلاتور برای هر دو ابزار یکسان است (نمودارهای ۱ تا ۵) و از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت ($P>0/05$).



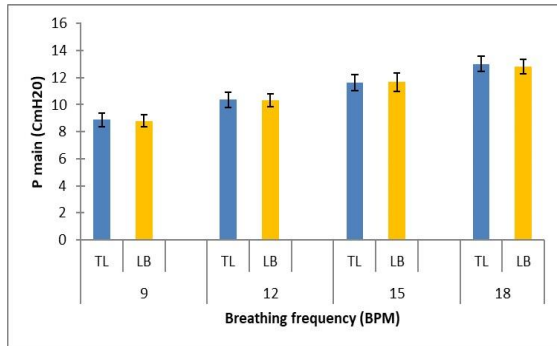
شکل ۲- تصویر واقعی از لانگ باکس متصل به ونتیلاتور ICU

جدول ۱- مقایسه تکرارپذیری متغیرهای منتخب بسامد تنفسی، حجم و فشار راه هوایی تست لانگ^۱ (TL) و لانگ باکس^۲ (LB) برای مدل تهویه CMV (VCV)

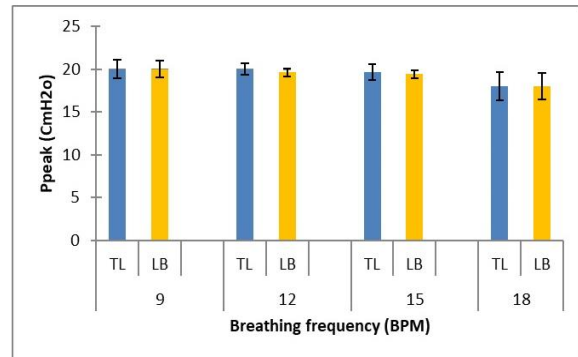
تعداد تنفس (تعداد)	حجم جاری (لیتر)	فشار ماگزیم (سانتی متر آب)		میانگین فشار (سانتی متر آب)		حجم دقیقه‌ای (لیتر بر دقیقه)		جریان ماگزیم (لیتر بر دقیقه)		جریان بازدمی (لیتر بر دقیقه)	
		TL	LB	TL	LB	TL	LB	TL	LB	TL	LB
۹	-/۴۰	۱۹	۱۹	۸/۳	۸/۲	-/۳۰۰	-/۳۰۳	۱۲	۱۲	۲/۹۰	۲/۹۲
	-/۴۵	۱۸	۱۹	۸/۵	۸/۶	-/۳۳۰	-/۳۲۸	۱۴	۱۴	۲/۹۷	۲/۹۵
	-/۵۰	۲۰	۲۰	۸/۸	۸/۷	-/۳۵۳	-/۳۵۱	۱۶	۱۵	۳/۳۳	۳/۳۴
	-/۵۵	۲۱	۲۱	۹/۳	۹/۲	-/۴۱۹	-/۴۱۶	۱۷	۱۷	۳/۷۱	۳/۷۲
	-/۶۰	۲۲	۲۱	۹/۵	۹/۳	-/۴۵۵	-/۴۵۳	۱۷	۱۸	۴/۱۶	۴/۱۰
۱۲	-/۴۰	۱۸	۱۸	۹/۷	۹/۷	-/۲۹۰	-/۲۸۹	۱۳	۱۲	۳/۴۴	۳/۴۶
	-/۴۵	۱۹	۱۹	۹/۹	۱۰	-/۳۳۱	-/۳۳۰	۱۴	۱۴	۳/۹۶	۳/۹۶
	-/۵۰	۲۱	۲۰	۱۰/۴	۱۰/۳	-/۳۷۱	-/۳۷۴	۱۴	۱۵	۴/۵۳	۴/۵۰
	-/۵۵	۲۰	۲۰	۱۰/۸	۱۰/۶	-/۴۱۰	-/۴۱۶	۱۸	۱۷	۴/۸۴	۴/۸۸
	-/۶۰	۲۲	۲۱	۱۱/۰	۱۰/۹	-/۴۶۵	-/۴۶۱	۱۸	۱۸	۵/۵۳	۵/۵۱
۱۵	-/۴۰	۱۷	۱۸	۱۰/۹	۱۰/۸	-/۲۹۲	-/۲۹۱	۱۳	۱۲	۴/۳۶	۴/۳۹
	-/۴۵	۱۸	۱۹	۱۱/۳	۱۱/۲	-/۳۳۲	-/۳۳۲	۱۳	۱۴	۵/۰۱	۴/۹۹
	-/۵۰	۲۱	۱۹	۱۱/۴	۱۱/۷	-/۳۸۱	-/۳۷۹	۱۷	۱۵	۵/۵۰	۵/۶۵
	-/۵۵	۲۲	۲۰	۱۲/۰	۱۲/۱	-/۴۲۰	-/۴۲۲	۱۵	۱۷	۶/۱۸	۶/۲۹
	-/۶۰	۲۰	۲۱	۱۲/۴	۱۲/۵	-/۴۵۹	-/۴۶۴	۱۸	۱۸	۶/۹۷	۶/۹۵
۱۸	-/۴۰	۱۷	۱۸	۱۲/۵	۱۲/۱	-/۲۹۶	-/۲۹۳	۱۳	۱۲	۵/۲۰	۵/۲۵
	-/۴۵	۱۳	۱۲	۱۲/۳	۱۲/۶	-/۳۳۳	-/۳۳۴	۱۵	۱۴	۶/۰۲	۶/۰۲
	-/۵۰	۱۷	۱۹	۱۳/۲	۱۳/۰	-/۳۷۷	-/۳۷۹	۱۲	۱۵	۶/۷۸	۶/۸۰
	-/۵۵	۲۲	۲۰	۱۳/۴	۱۳/۲	-/۴۲۳	-/۴۲۱	۱۵	۱۷	۷/۵۳	۷/۵۸
	-/۶۰	۲۱	۲۱	۱۳/۶	۱۳/۴	-/۴۷۰	-/۴۶۸	۲۰	۱۸	۸/۳۳	۸/۳۵

^۱ Test Lung

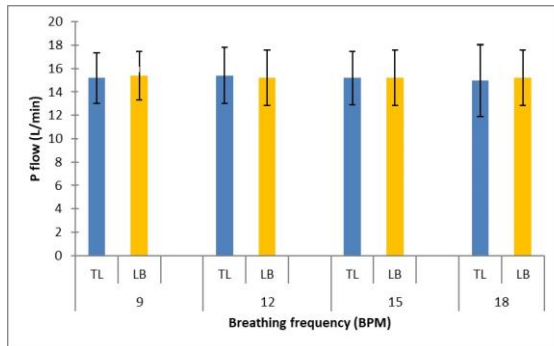
^۲ Lung Box



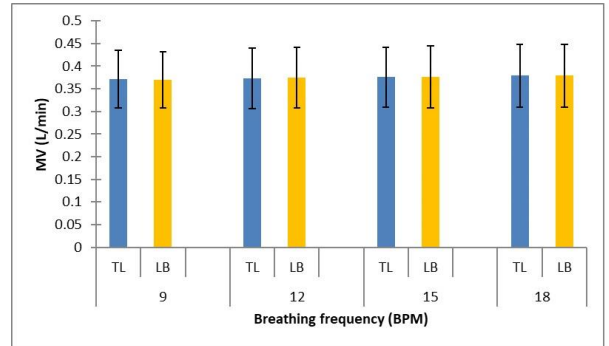
نمودار ۲- مقایسه شاخص Pmain در دو مدل TL (ستون آبی) و LB (ستون زرد) با ریتم‌های تنفسی (RR) مختلف هیچ اختلاف آماری معنی‌دار بین گروه‌ها مشاهده نشد.



نمودار ۱- مقایسه شاخص Ppeak در دو مدل TL (ستون آبی) و LB (ستون زرد) با ریتم‌های تنفسی (RR) مختلف هیچ اختلاف آماری معنی‌دار بین گروه‌ها مشاهده نشد.



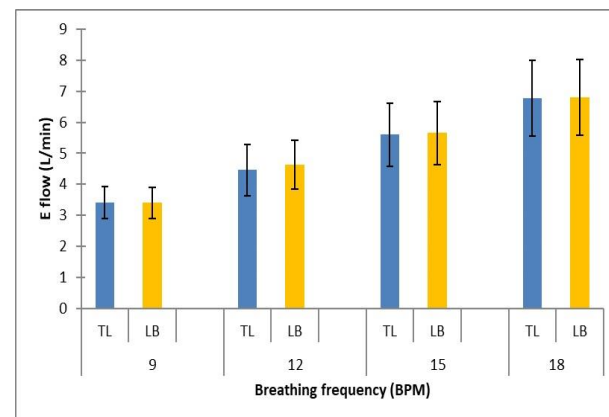
نمودار ۴- مقایسه شاخص جریان حداکثری (P flow) در دو مدل TL (ستون آبی) و LB (ستون زرد) با ریتم‌های تنفسی (RR) مختلف هیچ اختلاف آماری معنی‌دار بین گروه‌ها مشاهده نشد.



نمودار ۳- مقایسه شاخص حجم جاری (MV) در دو مدل TL (ستون آبی) و LB (ستون زرد) با ریتم‌های تنفسی (RR) مختلف هیچ اختلاف آماری معنی‌دار بین گروه‌ها مشاهده نشد.

بحث

مزیت عمده این شبیه‌ساز، ارابه روشی ساده با قابلیت تعقیب همزمان محاسبات ریاضی کمپلیانس، مقاومت، مؤلفه‌های ترکیبی و چندمتغییری مانند حجم دقیقه‌ای دمی و مقایسه آن با داده‌نمایی صفحه نمایشگر ونتیلاتور است. این محاسبات همزمان موجبات خلق فرصت‌های آموزشی تا سطح پنجم مدل آموزشی توکسونومی اصلاح‌شده بلوم^۱ در قلمرو آموزش تهویه مکانیکی می‌شود. علاوه بر موارد مطرح‌شده، سامانه اعمال انسداد راه هوایی یک گام ابتکاری، بشمار می‌رود. یک مفهوم بین‌رشته‌ای^۲ شامل دانش فیزیولوژی،



نمودار ۵- مقایسه شاخص جریان بازدمی (E flow) در دو مدل TL (ستون آبی) و LB (ستون زرد) با ریتم‌های تنفسی (RR) مختلف هیچ اختلاف آماری معنی‌دار بین گروه‌ها مشاهده نشد.

¹ RBT Educational Level

² Interdisciplinary

همچنین با استفاده از یک شبیه‌ساز کامپیوتری پژوهشگر ساخته، بررسی و مقایسه اثربخشی آموزش مبتنی بر شبیه‌ساز با روش آموزش سنتی با حجم نمونه ۴۱ فراگیر توسط پژوهشگران انجام پذیرفت. از زبان برنامه‌نویسی C Sharp برای طراحی شبیه‌ساز استفاده و در پلتفرم ویندوز، پتل اصلی شبیه سازی قابل نمایش بود. جریان دمی، فشارراه هوایی و اسکالرهایی حجمی، سوئیچ‌ها و کلیدهای دیجیتالی برای کنترل و تنظیم متغیرهای تهویه در دسترس بودند. فراگیران قادر بودند طبق مقادیر اعلام شده در سناریوی بالینی، با استفاده از ماوس یا صفحه کلید سازوکار ونتیلاتور مجازی را انجام دهند. پس از اتمام آموزش عملکرد مراقبتی هر دو گروه فراگیر به مدت ۶ هفته در بخش بالینی مورد رصد و ارزیابی قرار گرفت. نتایج تجزیه و تحلیل مطالعه نشان داد که دانش‌آموزان با رتبه برتر که موضوع بالینی را از طریق شبیه‌سازی یاد گرفتند، به‌طور معنی‌داری نمرات بالاتری (۲۳/۹±۱۳۳/۹) از دانش‌آموزان روش یادگیری سخنرانی (۲۳/۱±۱۰۶/۱) کسب کردند (۳). از این مقاله بیشتر برای جنبه‌های فن‌آورانه آن استفاده شد. نتایجی که به‌عنوان اثربخشی آموزشی در این مقاله بیان شده‌است قابل قیاس با کار ما نیست، گرچه در فعالیت‌های آتی اثربخشی آموزشی شبیه‌ساز لانگ‌باکس مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

نتیجه‌گیری

با بررسی و تجزیه تحلیل آماری نتایج آزمون کارایی طرح فن‌آورانه پیش‌رو و مقایسه آن با داده حاصل از به‌کارگیری تست لانگ، مشخص گردید، این وسیله برای شبیه‌سازی فرصت‌های آموزشی مبحث تهویه مکانیکی و مبنای فیزیولوژی تنفس مناسب است. در تداوم و تکمیل فعالیت دانش‌پژوهی پیش‌رو، سنجش میزان رضایت‌مندی دانشجویان علوم پزشکی (پرستاری، پزشکی و هوشبری) و شان مربی صورت خواهد گرفت. همچنین تأثیر طراحی و ساخت این گونه وسایل آموزشی بر ارتقای فعالیت‌های دانش‌بنیانی، تجاری‌سازی ایده و خلق ثروت بررسی خواهد شد.

فیزیک و آموزش پزشکی در این دانش‌پژوهی فن‌آورانه بروز و ثبوت پیدا نمود. همچنین تحقیق بیومکانیکی سبب خلق ایده جدید برای تولید مدل ریه با قابلیت شبیه‌سازی ویژگی‌های فیزیولوژیکی نرمال و غیرنرمال گردید.

محققین یک شبیه‌ساز ریوی تحت‌عنوان Xpulm را طراحی و عرضه نمودند. مواد این شبیه‌ساز از پلیمر و اجزای ارگانیک ریوی (خوک) ساخته شد. ریت تنفسی ۱۸-۱۰ bpm و حجم جاری ml ۴۰۰-۶۰۰ شبیه‌سازی شد. تکرارپذیری^۱ بالا در ارایه جریان دمی تنظیم‌شده و ویژگی‌های فشار راه هوایی با ارزیابی چرخه‌های تنفسی (N= ۳۲۷۳) در یک بازه استاندارد حاصل گردید (۱۴). نمونه فوق در مقایسه با نمونه ما گرچه به‌دلیل وجود قطعه الکترومکانیکی پیشرفته‌تر است، اما به‌دلیل فرایند پیچیده مهندسی بافت اجزای ارگانیک پرهزینه‌تر و دارای پایایی بافتی کمتری است. انجام آزمون نهایی کارایی مانند پژوهش پیش‌رو با یک مد تهویه صورت گرفته است. و قابلیت شبیه‌سازی تریگر تنفسی را ندارد.

طراحی و ساخت فانتوم ریه برای بررسی حرکت تومور در زمان تنفس و حین پرتودرمانی توسط محققین انجام شد. بافت ریه مصنوعی از جنس سیلیکون وبافت دیواره قفسه صدری از جنس پلکسی‌گلاس و به‌صورت دوجداره ساخته شد. برای شبیه‌سازی عمل دم و بازدم نیز از پمپ پیستونی استفاده شد. قسمت‌های مکانیکی و الکتریکی به فانتوم اضافه شدند؛ به‌طوری که هر نیم ثانیه یک بار فانتوم متوقف و تصویربرداری CTScan و MRI انجام شد. این فانتوم سیکل تنفسی ریه و جابجایی تومور را به‌خوبی شبیه‌سازی کرده و مشخص گردید فانتوم مدل سیلیکونی با ۷ تومور شبیه‌سازی‌شده با دواير توخالی درون بافت ریه، قابلیت ارزیابی حرکت ریه حین پرتودرمانی را دارد (۱۸). این شبیه‌ساز از نظر شبیه‌سازی ظاهری به‌نسبت کار ما، به ساختار آناتومی ریه شبیه‌تر است و احتمالاً وضعیت ریه حین دم و بازدم را بهتر نشان می‌دهد. اما گام ابتکاری و تعدد مفاهیم شبیه‌سازی شده در شبیه‌ساز ما بیشتر است، گرچه از نظر ماهیت مفاد شبیه‌سازی با کار ما فرق دارد و اهداف متفاوتی را تعقیب می‌کند.

¹ Reproducibility

تقدیر و تشکر

این مقاله حاصل یک پروژه پژوهشی فناورانه تحت عنوان طراحی و ساخت ابزار یادگیری برای فرصت‌های آموزشی تهویه مکانیکی (لانگ باکس) با کد پروپوزال فن‌آوران ۶۴۸۹ می‌باشد که با حمایت معاونت تحقیقات و فن‌آوری سلامت دانشگاه علوم پزشکی بیرجند اجرا شده است.

نویسندگان مقاله از گروه فیزیک دانشکده پیراپزشکی در خصوص مشاوره‌های فنی مرتبط با طراحی سیمولاتور و نگارش فرمول‌های مکانیک به‌غایت سپاس‌گزارند.

حمایت مالی

این پژوهش با حمایت مالی معاونت تحقیقات و فن‌آوری دانشگاه انجام شده‌است.

مشارکت نویسندگان

تهیه و اجرای پروپوزال و نگارش مقاله توسط منصور سلطانی مشاوره علمی و آماری طرح، آنالیز داده و ویراستاری مقاله توسط دکتر محسن فؤادالدینی

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافی در پژوهش حاضر وجود ندارد.

ملاحظات اخلاقی

مطالعه حاضر دارای تأییدیه شورای فن‌آوری دانشگاه برای وسیله آموزشی LungBox با کد اخلاقی IR.BUMS.REC.1402.470 می‌باشد.

منابع:

- 1- Pervaiz A, Daoud A, Alchakaki A, Ganti Sh, Venkat D, Lee S, et al. A Pilot Standardized Simulation-Based Mechanical Ventilation Curriculum Targeting Pulmonary and Medicine Fellows Critical Care Medicine and Critical Care. *Avicenna J Med* 2023; 13 (3): 176–81. DOI: [10.1055/s-0043-1773792](https://doi.org/10.1055/s-0043-1773792)
- 2- Tallo FS, Vendrame LS, Baitello AL. Comparison of three methods for teaching mechanical ventilation in an emergency setting to sixth-year medical students: a randomized trial. *Rev Assoc Med Bras*. 2020; 66(10): 1409-13. DOI: [10.1590/1806-9282.66.10.1409](https://doi.org/10.1590/1806-9282.66.10.1409)
- 3- Keegan RD, Brown GR, Gordon A. Use of a simulation of the ventilator-patient interaction as an active learning exercise: comparison with traditional lecture. *J Vet Med Educ*. 2012; 39(4): 359-67. DOI: [10.3138/jvme.0612.061R](https://doi.org/10.3138/jvme.0612.061R). PMID: 23187028
- 4- Yee J, Fuenning C, George R, Hejal R, Haines N, Dunn D, et al. Mechanical Ventilation Boot Camp: A Simulation-Based Pilot Study. *Crit Care Res Pract*. 2016; 2016: 4670672. DOI: [10.1155/2016/4670672](https://doi.org/10.1155/2016/4670672). Epub 2016 Feb 1. PMID: 26949545; PMCID: PMC4753319
- 5- Ayaz O, Ismail FW. Healthcare Simulation: A Key to the Future of Medical Education - A Review. *Adv Med Educ Pract*. 2022; 13: 301-8. DOI: [10.2147/AMEP.S353777](https://doi.org/10.2147/AMEP.S353777). PMID: 35411198; PMCID: PMC8994530
- 6- Alsuwaidi L, Kristensen J, Hk A, Al Hejaly S. Use of simulation in teaching haematological aspects to undergraduate medical students improves student's knowledge related to the taught theoretical underpinnings. *BMC Med Educ* 2021; 21(1): 271. DOI: [10.1186/s12909-021-02709-5](https://doi.org/10.1186/s12909-021-02709-5)
- 7- Ahmady S, Kallestrup P, Sadoughi MM, Katibeh M, Kalantarion M, Amini M, et al. Distance learning strategies in medical education during COVID-19: A systematic review. *J Educ Health Promot*. 2021; 10: 421. DOI: [10.4103/jehp.jehp_318_21](https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_318_21). PMID: 35071627; PMCID: PMC8719547.
- 8- Al-Elq AH. Simulation-based medical teaching and learning. *J Family Community Med*. 2010; 17(1): 35-40. DOI: [10.4103/1319-1683.68787](https://doi.org/10.4103/1319-1683.68787). PMID: 22022669; PMCID: PMC3195067

- 9- So HY, Chen PP, Wong GKC, Chan TTN. Simulation in medical education. *J R Coll Physicians Edinb.* 2019; 49(1): 52-7. DOI: [10.4997/JRCPE.2019.112](https://doi.org/10.4997/JRCPE.2019.112). PMID: 30838994
- 10- Palominos E, Levett-Jones T, Power T, Martinez-Maldonado R. 'We learn from our mistakes': nursing students' perceptions of a productive failure simulation. *Collegian*, 29(5), 708-12. DOI: [10.1016/j.colegn.2022.02.006](https://doi.org/10.1016/j.colegn.2022.02.006)
- 11- Ruppel H, Funk M, Whittemore R, Wung SF, Bonafide CP, Powell Kennedy H. Critical care nurses' clinical reasoning about physiologic monitor alarm customisation: An interpretive descriptive study. *J Clin Nurs.* 2019; 28(15-16): 3033-41. DOI: [10.1111/jocn.14866](https://doi.org/10.1111/jocn.14866). Epub 2019 Apr 22. PMID: 30938915.
- 12- Carinci F, Van Gool K, Mainz J, Veillard J, Pichora EC, Januel JM, et al. Towards actionable international comparisons of health system performance: expert revision of the OECD framework and quality indicators. *Int J Qual Health Care.* 2015; 27(2): 137-46. DOI: [10.1093/intqhc/mzv004](https://doi.org/10.1093/intqhc/mzv004)
- 13- Tran AS, Think Ngo HQ, Dong VK, Vo AH. Design, Control, Modeling, and Simulation of Mechanical Ventilator for Respiratory Support. *Math Prob Eng.* 2021: 2499804. <https://doi.org/10.1155/2021/2499804>
- 14- Pasteka R, Forjan M, Sauermann S, Drauschke A. Electro-mechanical Lung Simulator Using Polymer and Organic Human Lung Equivalents for Realistic Breathing Simulation. *Sci Rep.* 2019; 9(1): 19778. PMID: 31874980; PMCID: [PMC6930199](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/PMC6930199/). DOI: [10.1038/s41598-019-56176-6](https://doi.org/10.1038/s41598-019-56176-6).
- 15- Mittman C, Edelman NH, Norris AH, Shock NW. Relationship between chest wall and pulmonary compliance and age. *J Appl Physiol.* 1965; 20(6): 1211-6. DOI: [10.1152/jappl.1965.20.6.1211](https://doi.org/10.1152/jappl.1965.20.6.1211)
- 16- Carvalho AR, Zin WA. Respiratory system dynamical mechanical properties: modeling in time and frequency domain. *Biophys Rev.* 2011; 3(2): 71. DOI: [10.1007/s12551-011-0048-5](https://doi.org/10.1007/s12551-011-0048-5). Epub 2011 May 19. PMID: 28510005; PMCID: [PMC5418399](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/PMC5418399/).
- 17- Shi L, Herrmann J, Bou Jawde S, Bates JH, Nia HT, Suki B. Modeling the influence of gravity and the mechanical properties of elastin and collagen fibers on alveolar and lung pressure-volume curves. *Sci Rep.* 2022; 12(1), 12280. DOI: [10.1038/s41598-022-16650-0](https://doi.org/10.1038/s41598-022-16650-0)
- 18- Akmal Z, Shahbazi-Gahrouei D, Mosleh-Shirazi M. A, Baradaran-Ghahfarokhi M, Fallahian N, Sherkat S. Design and Fabrication of a Four-Dimensional Respiratory Phantom for Studying Tumor Movement in Radiotherapy with Magnetic Resonance Imaging. *Iranian Journal of Medical Physics*, 2018; 15(Special Issue-12th. Iranian Congress of Medical Physics): 252-2. DOI: [10.22038/ijmp.2018.12888](https://doi.org/10.22038/ijmp.2018.12888)