Modelo del flujo de las vías aéreas basado en TC para asesorar la ventilación en la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica: un estudio piloto

SEPTIEMBRE 2020

ORIGINAL RESEARCH • THORACIC IMAGING

Radiology

CT-based Airway Flow Model to Assess Ventilation in Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Pilot Study

Minsuok Kim, PhD • Ozkan Doganay, PhD • Tahreema N. Matin, FRCR, DPhil • Thomas Povey, DPhill • Fergus V. Gleeson, FRCP, FRCR, FCCP

From the Departments of Engineering Science (M.K., T.P.) and Oncology (O.D., F.V.G.), University of Oxford, Parks Road, Oxford OX1 3PJ, England; and Department of Radiology, The Churchill Hospital, Oxford University Hospitals NHS Trust, Headington, England (O.D., T.N.M., F.V.G.). Received February 22, 2019; revision requested April 25; revision received August 6; accepted August 22. **Address correspondence to** M.K. (e-mail: *minsuok.kim@eng.ox.ac.uk*).

Study supported by Cancer Research UK (C5255), the Engineering and Physical Sciences Research Council in the UK (A16466), and the NIHR Biomedical Research Centre, Oxford.

Conflicts of interest are listed at the end of this article.

See also the editorial by Schiebler and Parraga in this issue.

Radiology 2019; 293:666–673 • https://doi.org/10.1148/radiol.2019190395 • Content code: CH

Abbreviations

COPD = chronic obstructive pulmonary disease, FAN = full-scale airway network

Summary

By using CT images with routine pulmonary function testing, computation models demonstrated lung ventilation comparable to images obtained by using hyperpolarized xenon 129 MRI and technetium 99m–diethylenetriaminepentaacetic acid SPECT ventilation imaging.

Key Results

- Full-scale airway network (FAN) flow-modeled ventilation showed strong positive linear correlation with images from hyperpolarized xenon 129 (^{129}Xe) MRI (hereafter, ^{129}Xe MRI) ($\rho = 0.67$; $P < .001$) and technetium 99m–diethylenetriaminepentaacetic acid SPECT ventilation imaging (hereafter, V-SPECT) ($\rho = 0.65$; $P < .001$).
- The χ^2 distances of the ventilation histograms in the volume of interest between FAN and ^{129}Xe MRI (χ^2 distance, 0.16 ± 0.08) and FAN and V-SPECT (χ^2 distance, 0.28 ± 0.14) were small.
- The ratios of lobar ventilations in the FAN models were linearly correlated to the images from ^{129}Xe MRI ($\rho = 0.67$; $P < .001$) and V-SPECT ($\rho = 0.56$; $P < .001$).

Introducción

EPOC es causa prominente de morbimortalidad

Carga mundial económica y social

Pronóstico en 2019 para 2020:

- tercer en mortalidad como enfermedad

- quinto en carga por enfermedad

Mejoras dirigidas al:

- Diagnóstico

- Estratificación de enfermedad

- Desarrollo de terapias

TC tórax

Anormalidades estructurales

Severidad de enfisema

Débil correlación con VEF-1

TC no predice:

- Índice de desmejora de la salud

- Pronóstico EPOC

Imágenes de ventilación

- Xenón 129 hiperpolarizado MRI (HPX-MRI)
- Aerosol de tecnecio 99m-dietilenetriaminpentaacetato SPECT (V-SPECT)

V-SPECT

Baja resolución espacial

Alto costo, baja disponibilidad

HPX-MRI

No aceptado en práctica clínica aún

FAN

Modelo de la red de vías aéreas de escala completa

Demostrar características dinámicas del flujo

Objetivo: demostrar modelo de ventilación computarizada empleando data estructural de imágenes por TC y compararlo con imagenología pulmonar funcional

M y M

Estudio prospectivo

Centro terciario

Del 31 de mayo - 31 de agosto del 2017

Pruebas:

CT (para el FAN)

HPX-MRI

V-SPECT

Pruebas de función pulmonar el mismo día

FIGURA 1

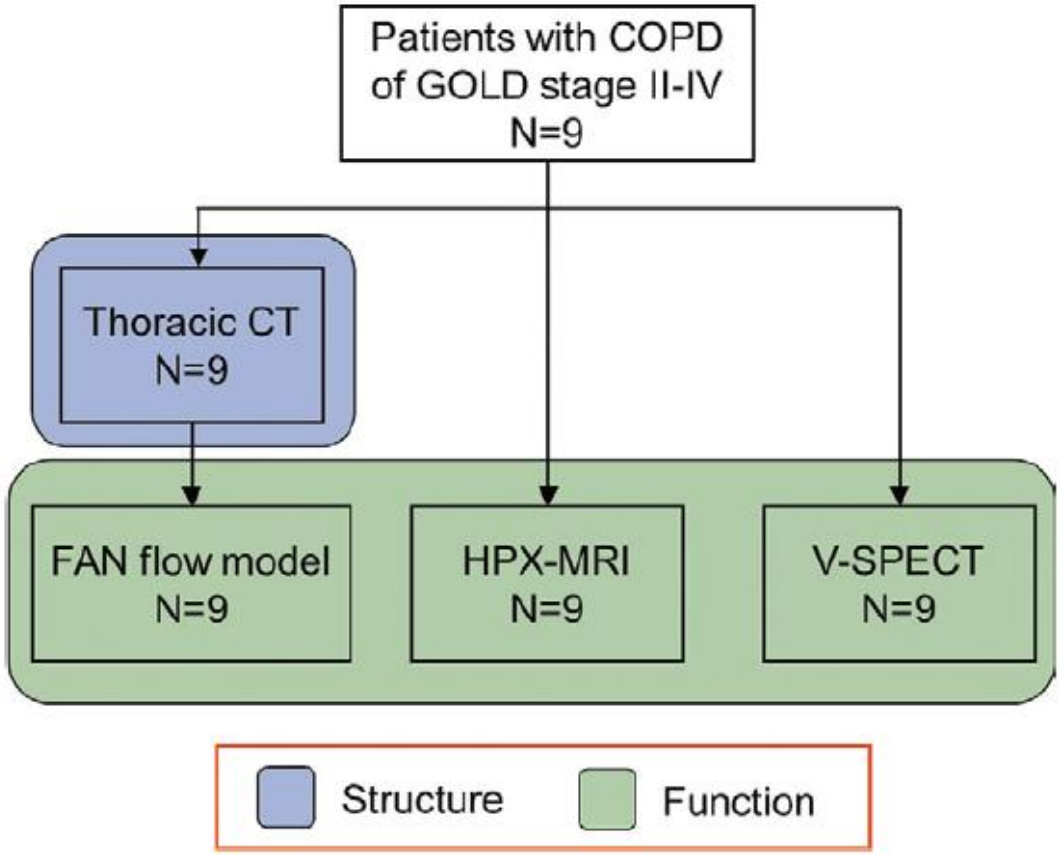
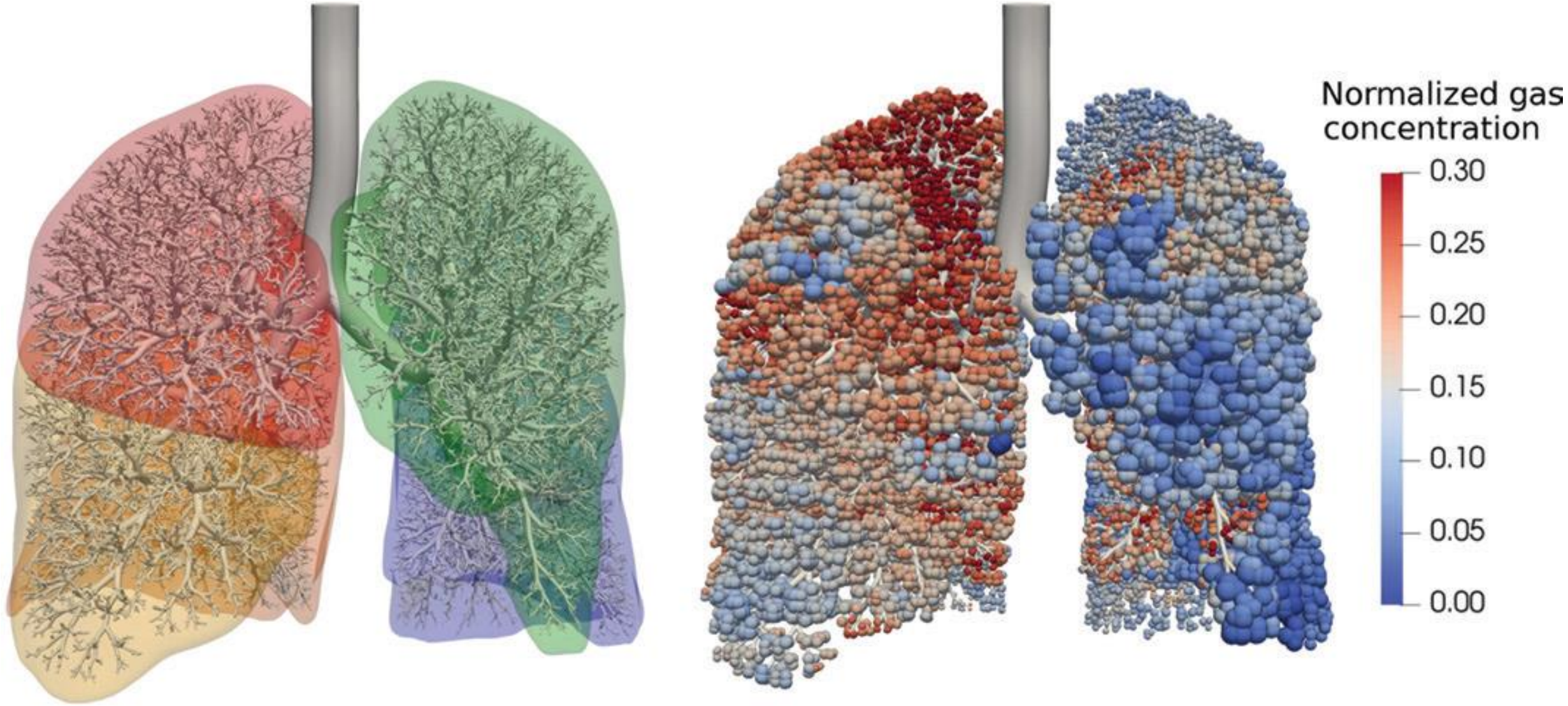

Patients with COPD
of GOLD stage II-IV
N=9
Thoracic CT
N=9
FAN flow model
N=9
HPX-MRI
N=9
V-SPECT
N=9
Structure
Function

FIGURA 2



Characteristics of Study Participants

Participant No.	Age (y)	Sex	Height (cm)	Weight (kg)	GOLD stage	RV (L)	TLC (L)	FEV_1 (% predicted)	FEV_1/FVC (% predicted)
1	58	F	157	66.0	II	2.8	5.6	57	68
2	73	M	163	55.0	IV	5.6	7.8	25	37
3	64	M	185	128.2	II	2.5	7.4	63	75
4	68	F	150	47.0	III	4.8	6.3	30	47
5	58	M	156	54.7	II	3.5	6.6	47	57
6	67	M	177	77.9	III	3.7	8.1	46	51
7	64	M	174	91.8	III	4.7	8.9	41	49
8	62	M	171	71.3	II	2.8	7.2	63	63
9	65	M	150	51.0	III	5.9	7.9	46	51
Overall*	64 ± 5		165 ± 12.5	71.4 ± 25.7		4.0 ± 1.2	7.3 ± 1.0	46.4 ± 13.3	55.3 ± 11.7

Note.—FEV_1 = forced expiratory volume in 1 second, FVC = forced vital capacity, GOLD = Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease, RV = residual volume, TLC = total lung capacity.

* Mean data are ± standard deviation.

FIGURA 3

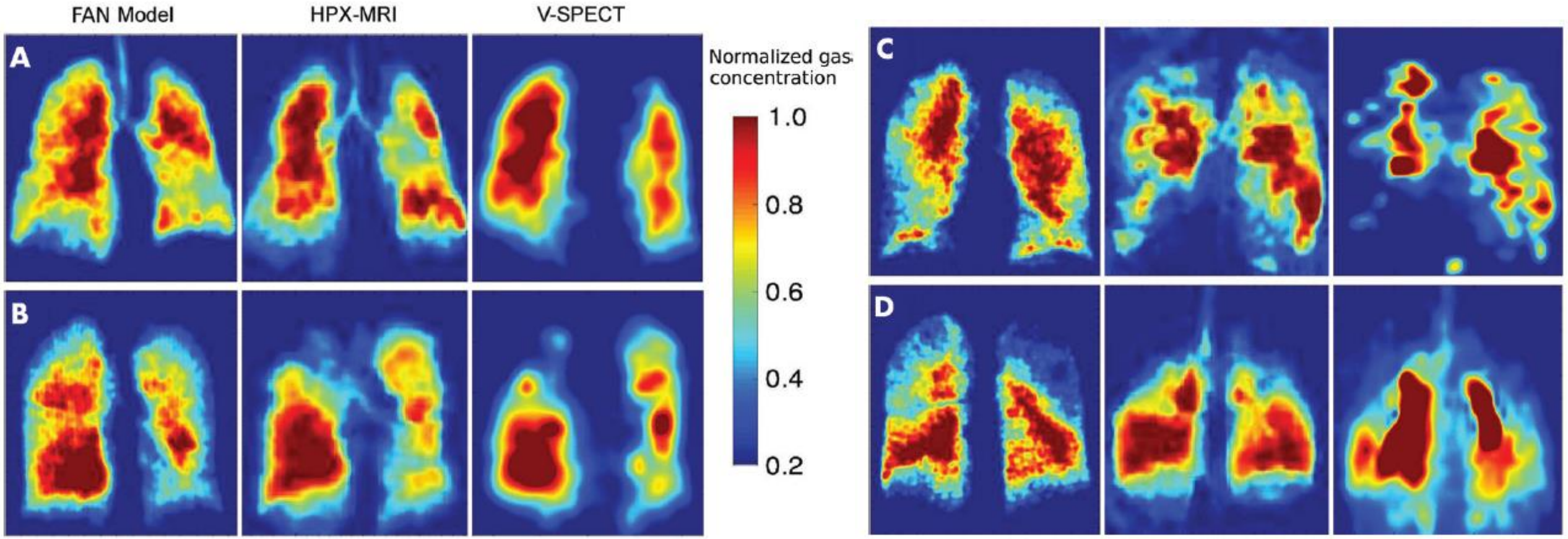

FAN Model
HPX-MRI
V-SPECT
A
B
C
D
Normalized gas concentration
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2

FIGURA 4A

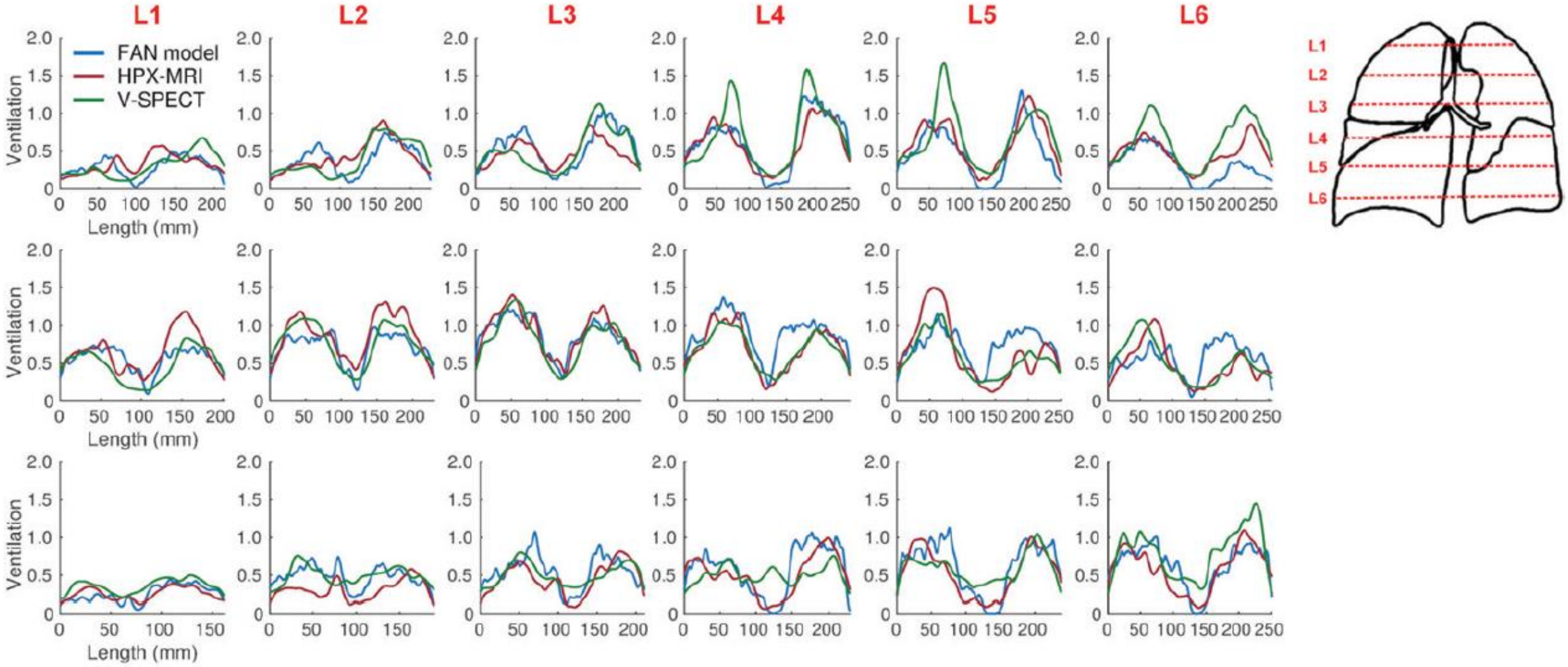
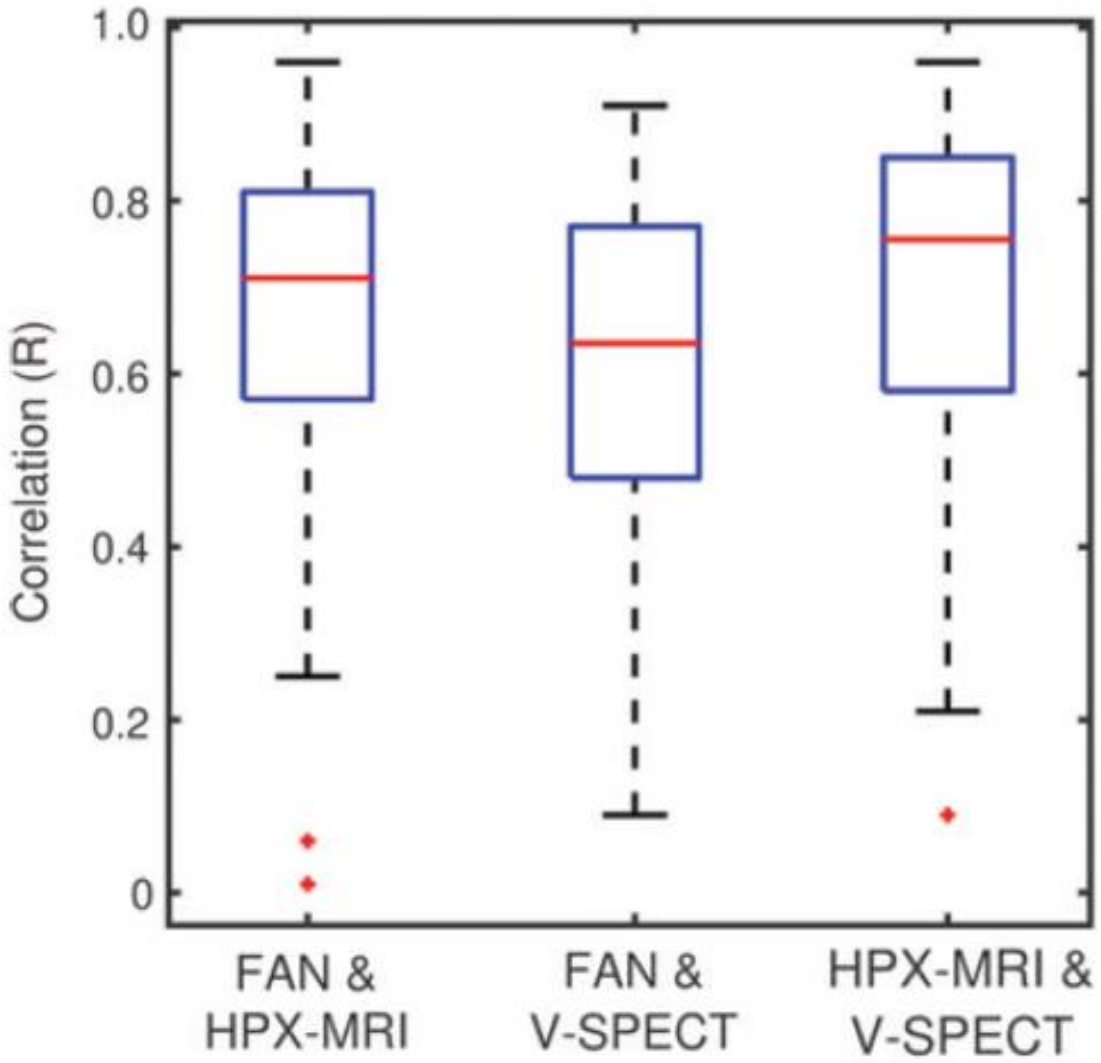

L1
L2
L3
L4
L5
L6
FAN model
HPX-MRI
V-SPECT
Ventilation
Length (mm)

FIGURA 4B


Correlation (R)
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
FAN & HPX-MRI
FAN & V-SPECT
HPX-MRI & V-SPECT

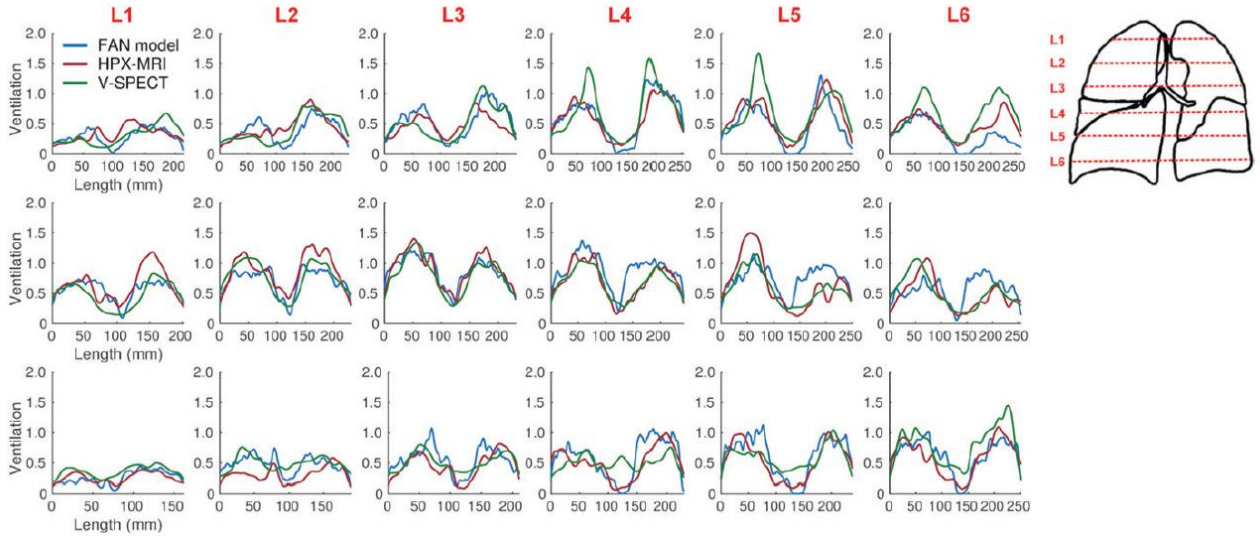

L1
L2
L3
L4
L5
L6
FAN model
HPX-MRI
V-SPECT
Ventilation
Length (mm)

FIGURA 5A

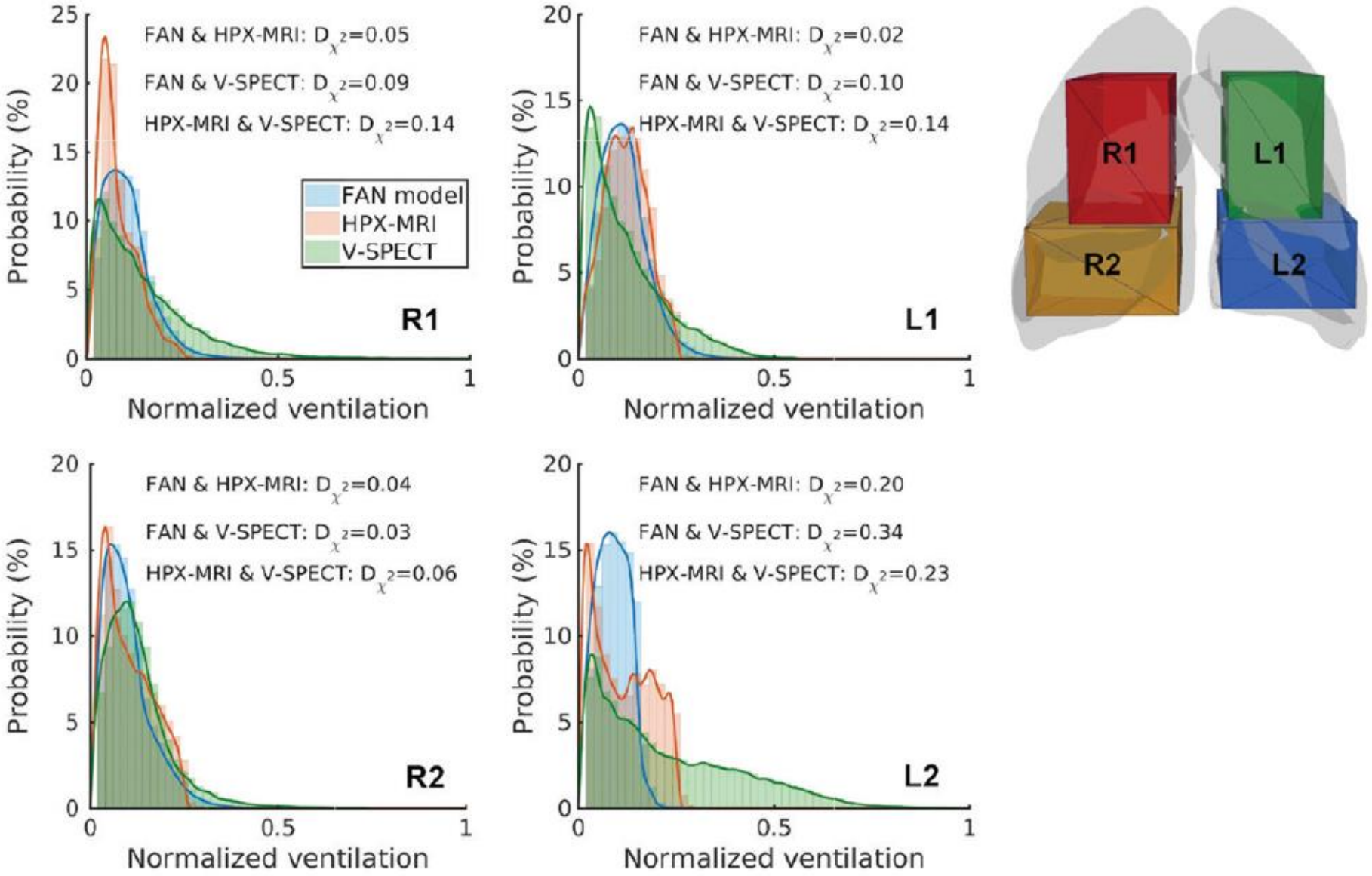
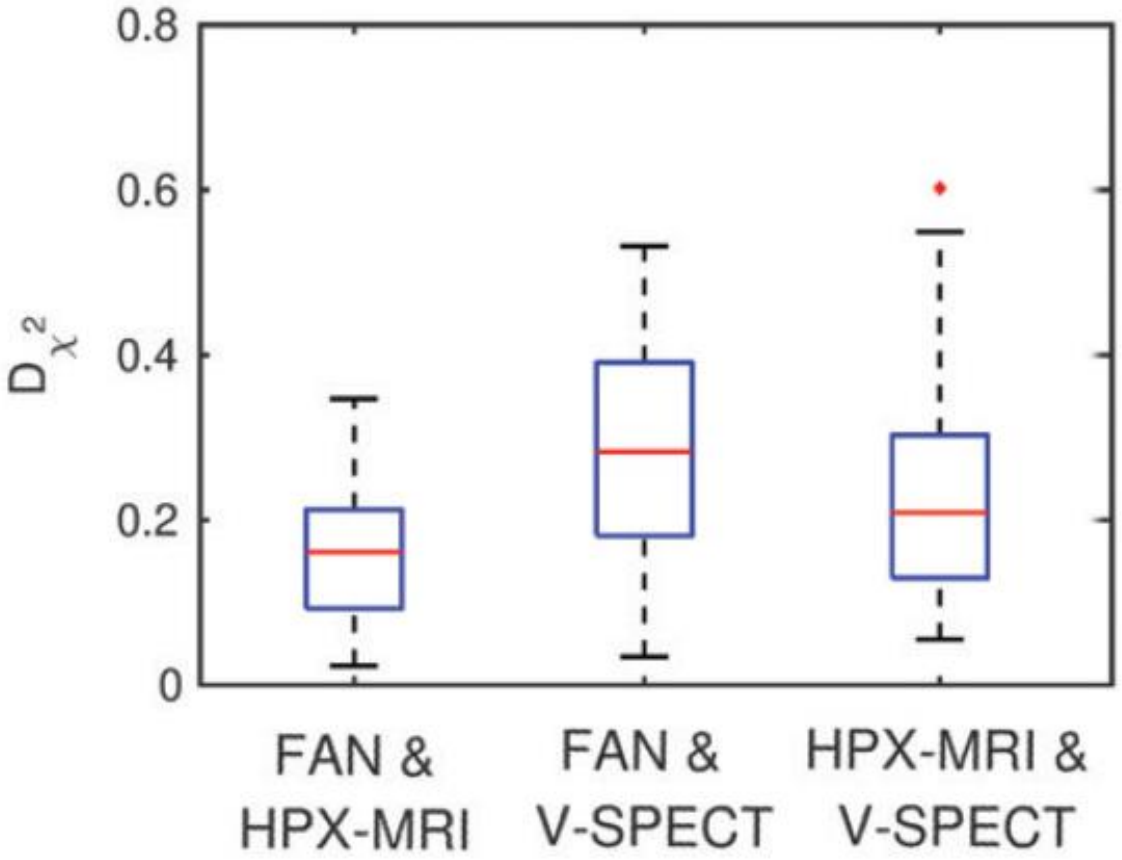

FAN & HPX-MRI: D_{χ^2}=0.05
FAN & V-SPECT: D_{χ^2}=0.09
HPX-MRI & V-SPECT: D_{χ^2}=0.14
FAN model
HPX-MRI
V-SPECT
R1
Probability (%)
Normalized ventilation
FAN & HPX-MRI: D_{χ^2}=0.02
FAN & V-SPECT: D_{χ^2}=0.10
HPX-MRI & V-SPECT: D_{χ^2}=0.14
L1
FAN & HPX-MRI: D_{χ^2}=0.04
FAN & V-SPECT: D_{χ^2}=0.03
HPX-MRI & V-SPECT: D_{χ^2}=0.06
R2
FAN & HPX-MRI: D_{χ^2}=0.20
FAN & V-SPECT: D_{χ^2}=0.34
HPX-MRI & V-SPECT: D_{χ^2}=0.23
L2
R1
L1
R2
L2

FIGURA 5A


0.8
0.6
0.4
0.2
0
D_{χ^2}
FAN & HPX-MRI
FAN & V-SPECT
HPX-MRI & V-SPECT

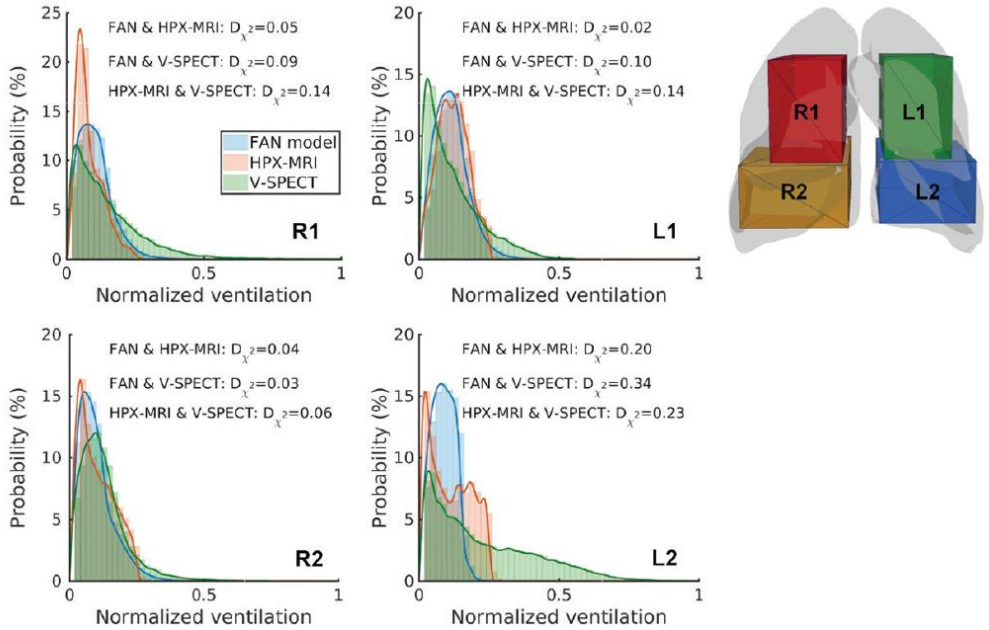
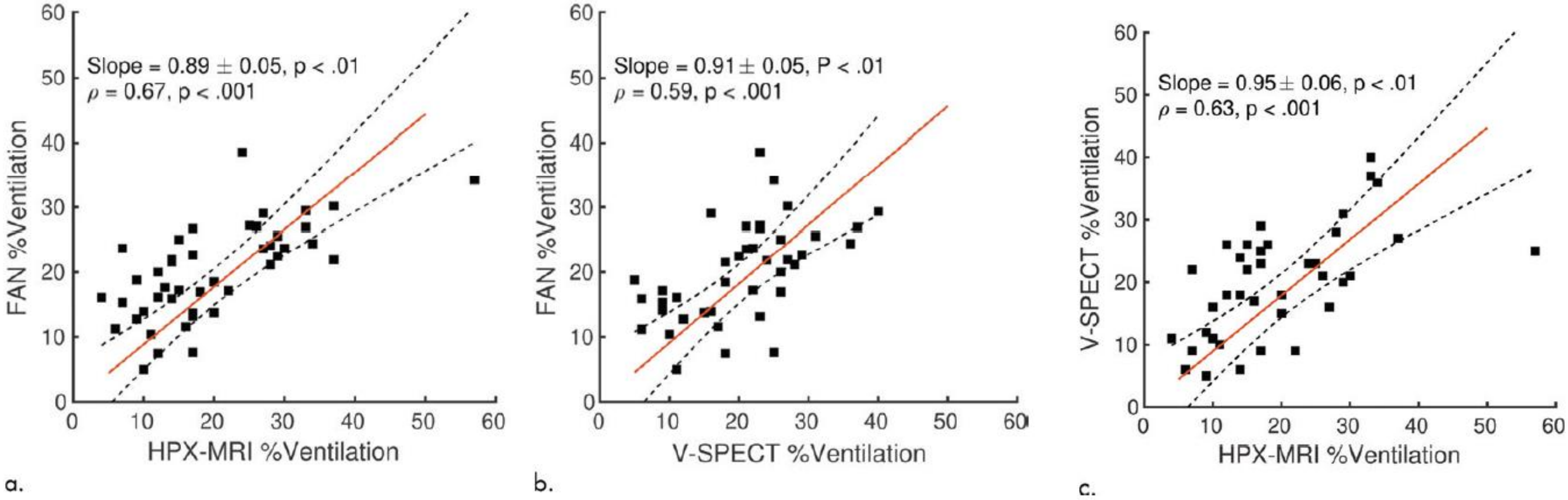

FAN & HPX-MRI: D_{χ^2}=0.05
FAN & V-SPECT: D_{χ^2}=0.09
HPX-MRI & V-SPECT: D_{χ^2}=0.14
FAN model
HPX-MRI
V-SPECT
R1
FAN & HPX-MRI: D_{χ^2}=0.02
FAN & V-SPECT: D_{χ^2}=0.10
HPX-MRI & V-SPECT: D_{χ^2}=0.14
L1
FAN & HPX-MRI: D_{χ^2}=0.04
FAN & V-SPECT: D_{χ^2}=0.03
HPX-MRI & V-SPECT: D_{χ^2}=0.06
R2
FAN & HPX-MRI: D_{χ^2}=0.20
FAN & V-SPECT: D_{χ^2}=0.34
HPX-MRI & V-SPECT: D_{χ^2}=0.23
L2
Probability (%)
Normalized ventilation
R1
L1
R2
L2

FIGURA 6


Slope = 0.89 ± 0.05, p < .01
ρ = 0.67, p < .001
FAN %Ventilation
HPX-MRI %Ventilation
a.
Slope = 0.91 ± 0.05, P < .01
ρ = 0.59, p < .001
FAN %Ventilation
V-SPECT %Ventilation
b.
Slope = 0.95 ± 0.06, p < .01
ρ = 0.63, p < .001
V-SPECT %Ventilation
HPX-MRI %Ventilation
c.

TC tórax

Vislumbres valiosos de la estructura

Falta de información funcional constituye limitación

Asesoramiento exitoso de ventilación pulmonar en EPOC por modelo FAN

Correlación fuerte entre HPX-MRI y V-SPECT

Para optimizar la especificidad para los participantes; modelo FAN empleado con:

- Densidad tisular
- Volúmenes pulmonares
- Pruebas de la función pulmonar
- Geometría híbrida de vías aéreas grandes y pequeñas
- Condiciones iniciales y límites determinados individualmente

Modelo FAN

El modelo FAN conectó interactivamente todas las unidades acinares por la red de vías aéreas permitiendo la simulación de comportamiento complejo de flujo

Primer estudio para asesorar la distribución de la ventilación pulmonar en escala completa empleando un modelo de red del flujo de las vías aéreas que guarda correlación con imágenes funcionales

Análisis de la ventilación a partir de vóxeles individuales

- Concentración de gas en cada voxel

- Oportunidad de mayor detalle y exactitud

Modelo FAN

Defectos de ventilación en HPX-MRI

- Factores fisiológicos
- Distribución heterogénea del gas
- Constricción u obstrucción bronquial
- Destrucción tisular enfisematoso

Modelo FAN incorporó:

- Estructura de las vías aéreas hasta 5ta a 8va generación del árbol bronquial y tejido parenquimatoso

Conclusión

Estudio demostró exitosamente la distribución de la ventilación pulmonar por modelo de flujo de la red de vías aéreas de escala completa específico para el paciente y con correlación con HPX-MRI y V-SPECT

Vislumbres valiosos en ventilación regional y flujo de aire dinámico en variedad de enfermedades pulmonares