

LA MECANICA RESPIRATORIA EN TERNEROS SANOS RESPIRANDO HELIO-OXIGENO

M. N. Rodríguez¹
T. Art¹
F. Rollin¹
D. Desmecht¹
H. Amory¹
A. Linden¹
P. Lekeux¹

RESUMEN

La mecánica respiratoria fue investigada en seis terneros sanos respirando aire y una mezcla de 79% de He y 21% de O₂ (He-O₂). La presión intrapleural fue medida con un catéter esofágico y la presión transpulmonar fue obtenida - substrayendo a la presión bucal (P_m) la presión pleural - (P_{pl}). El flujo respiratorio (\dot{V}) fue medido usando un - neumotacógrafo Fleish N°3 y el volumen tidal (V_t) fue derivado electrónicamente integrando el flujo con respecto al tiempo. El flujo respiratorio, volumen tidal, presión pleural y la presión bucal, fueron simultáneamente registrados mientras los terneros respiraban primero aire - (1 min), luego He-O₂ (1 min) y por último aire nuevamente (1 min). Los valores de la función pulmonar fueron calculados sobre la base de los registros y los valores "He-O₂" fueron comparados con los correspondientes a "aire".

La respuesta ventilatoria a la disminución de la resistencia se caracterizó por un aumento significativo del volumen minuto exclusivamente debido a un aumento en la frecuencia respiratoria, mientras que el volumen tidal permaneció incambiado.

Una disminución del 32% en la resistencia pulmonar total (RL) y 16% en el trabajo mecánico respiratorio por litro (W_{rm}/L) fue observada cuando los terneros respiraban He-O₂.

La repercusión del He-O₂ sobre la resistencia pulmonar total y sobre el trabajo mecánico por litro sugiere que en la especie bovina, las turbulencias en la parte superior del tracto respiratorio juegan un rol significativo en la resistencia total de las vías aéreas.

¹ DMV. Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad de Lieja, Bélgica.

GLOSARIO.

Cdyn: compliance dinámica
 maxA PL: variaciones máximas de presión transpulmonar
 mVE: flujo espiratorio medio
 mVI: flujo inspiratorio medio
 PL: presión transpulmonar
 PLFRC: presión transpulmonar en la capacidad residual funcional
 PLmax: presión transpulmonar máxima
 PLmin: presión transpulmonar mínima
 Pm: presión de la máscara
 Ppl: presión intrapleuraleal
 RF: frecuencia respiratoria
 RL: resistencia pulmonar total
 Ruaw: resistencia de las vías aéreas superiores
 TI/TOT: relación entre el tiempo inspiratorio y el tiempo total del ciclo respiratorio
 \dot{V} : flujo
 \dot{V}_e : volumen minuto
 \dot{V}_t : volumen tidal
 \dot{V}_{Imax} : pico máximo de flujo inspiratorio
 \dot{V}_{Emax} : pico máximo de flujo espiratorio
 Wrm: trabajo mecánico respiratorio por ciclo
 Wrm/L: trabajo mecánico respiratorio por litro

INTRODUCCION.

Las enfermedades respiratorias son frecuentes tanto en terneros como en ganado de engorde y resultan en severos disturbios en el proceso de crecimiento e incluso - en la muerte. En razas como la Blanc-Bleu-Belge, en la cual por selección genética se desarrollaron caracteres zootécnicos específicos, se encontró que las afecciones respiratorias son la patología más frecuente y figuran entre las causas de mayor mortalidad y morbilidad. Publicaciones hasta la fecha, señalan la existencia de ciertas deficiencias anatómicas y funcionales que pueden estar relacionadas con su gran sensibilidad a las enfermedades respiratorias. Varios trabajos - han sido ya realizados referentes a la función pulmonar bovina y han permitido mejorar el conocimiento tanto de la fisiología como de la fisiopatología del sistema respiratorio bovino (Lekeux et al, 1984b, 1985a, b, c; Lekeux et al, 1986; Lekeux et al, 1988a; Pouplard et al, 1986).

El fraccionamiento de la resistencia pulmonar total así como los ajustes respiratorios al aumento de la resistencia consecutivo a las enfermedades respiratorias obstructivas de las vías aéreas superiores ya han sido estudiadas en terneros - (Lekeux et al, 1985b; Lekeux and Art, 1987; Gustin et al, 1987). Fue demostrado que en terneros, como en el hombre, perro y caballo, la resistencia de las vías - aéreas superiores (Ruaw) representa la mayor parte de la resistencia pulmonar total y cualquier aumento en la primera induce a un dramático aumento de la segunda, con cambios sustanciales en el modelo respiratorio (Gustin et al, 1987; Lekeux et al, 1988).

El propósito de este trabajo fue investigar la hipótesis de que la resistencia de las vías aéreas superiores es parcialmente debida a las turbulencias del flujo. Por lo tanto, los cambios inducidos en la mecánica respiratoria por disminución en la densidad del gas respirado fueron estudiados en terneros sanos.

MATERIALES Y METODOS.

1. Animales.

Seis terneros sanos fueron utilizados para este estudio. Cuatro de ellos (peso: 187 a 208 Kg) eran de la raza Friesian y los otros dos (peso: 129 y 137 Kg) eran cruza.

Todas las medidas fueron registradas con los terneros en reposo, sin anestesia ni sedantes.

2. Materiales.

La presión intrapleural (Ppl) fue medida con un catéter esofágico (Lekeux et al, 1984a) conectado a un transductor de presión (Gould). La punta del catéter fue colocada en la porción torácica del esófago en el punto donde se cruzan la aorta y los nódulos linfáticos mediastínicos caudales, usando la ecuación previamente presentada por Lekeux et al, 1984a.

Una máscara respiratoria fue adaptada alrededor de la boca y la nariz de cada ternero, evitando las fugas de aire y minimizando el espacio muerto (Lekeux et al, 1984b). Un orificio en la máscara permitió registrar los cambios de presión en la máscara (Pm).

La presión transpulmonar (PL) fue obtenida sustrayendo a la presión de la máscara la presión pleural.

El flujo respiratorio (\dot{V}) fue medido usando un neumotacógrafo Fleish N° 3 conectado a la máscara facial y acoplado a un transductor diferencial de presión (Gould) con dos catéteres idénticos. El volumen tidal (V_t) fue derivado electrónicamente integrando el flujo (\dot{V}) con respecto al tiempo.

Una válvula gigante Hans Rudolf fue adaptada al neumotacógrafo Fleish. Un extremo de la válvula fue conectado por intermedio de un tubo a un balón que contenía la mezcla de gases: 79% He y 21% O₂ a temperatura ambiente. Una válvula manual de tres pasos colocada entre el tubo y el balón permite el pasaje alternado de aire o la mezcla cuando es apropiado.

La calibración fue realizada antes y después de cada experimento con un rotámetro para el flujo e inyectando volúmenes conocidos de aire a través del neumotacógrafo para el volumen. Ambos transductores de presión, para medir la presión intrapleural y la de la máscara, fueron calibrados con un manómetro de agua.

3. Protocolo experimental.

Un período de 2 a 3 minutos fue respetado luego de colocar el catéter esofágico, la máscara y el conjunto neumotacógrafo-válvula. Luego el flujo, volumen tidal, presión pleural y presión bucal fueron registrados simultáneamente en un polígrafo (Gould ES 1000) mientras los terneros respiraban primero aire (Aire 1), luego He-O₂ y por último aire nuevamente (Aire 2), durante un minuto cada uno.

4. Cálculos.

Los siguientes valores pulmonares fueron medidos en 5 ciclos regulares durante las 3 condiciones, es decir, Aire 1, He-O₂ y Aire 2: frecuencia respiratoria (RF), volumen tidal (V_t), pico máximo de flujo inspiratorio y espiratorio ($\dot{V}_{I\max}$ y $\dot{V}_{E\max}$), flujo inspiratorio y espiratorio medio ($m\dot{V}_I$ y $m\dot{V}_E$), presión transpulmonar mínima y máxima (PL_{min} y PL_{max}), variaciones máximas de PL (max A PL), presión transpulmonar en la capacidad residual funcional (PL_{FRC}), volumen minuto (\dot{V}_e), relación entre el tiempo inspiratorio y el tiempo total del ciclo respiratorio (t_I/t_{TOT}) y la compliance dinámica (C_{dyn}). La resistencia pulmonar total

fue calculada por el método del isovolumen 50 por ciento. Los diagramas de presión-volumen fueron trazados para las curvas de presión transpulmonar y volumen tidal y el trabajo mecánico respiratorio (W_{RM}) fue estimado midiendo el área bajo la curva presión-volumen. El trabajo por litro de ventilación (W_{RM}/L) fue también calculado.

5. Análisis estadístico.

Los resultados son presentados como medias.

Los datos tomados mientras los terneros respiraban aire (Aire 1) fueron considerados como valores control. Fueron comparados con los datos obtenidos durante la respiración de He-O₂ y Aire 2 usando el test t de Student para datos acoplados.

RESULTADOS.

La respiración de He-O₂ induce un aumento en el volumen minuto (≤ 0.05 , a consecuencia de un aumento de la frecuencia respiratoria mientras que el volumen tidal permanece incambiado (Figura 1). Por otra parte, la resistencia pulmonar total, el trabajo mecánico respiratorio por litro y las variaciones máximas de la presión transpulmonar disminuyen significativamente (Figura 2).

El trabajo mecánico respiratorio y la relación entre el tiempo inspiratorio y el tiempo total del ciclo mostraron una disminución significativa durante la respiración de He-O₂, mientras que hubo un aumento significativo en el flujo inspiratorio y espiratorio máximo, en el flujo inspiratorio medio y en la presión transpulmonar máxima. La presión transpulmonar mínima y la capacidad residual funcional se vuelven significativamente menos negativas. La compliance dinámica permaneció incambiada (Cuadro 1).

Todos los datos que cambiaron significativamente retornaron a sus valores iniciales cuando el aire sustituyó al He-O₂.

DISCUSION.

Este es el primer informe realizado de las medidas de los valores de la función pulmonar en terneros respirando He-O₂. En un estudio similar realizado en humanos (Nattie and Tenney, 1970), la respuesta ventilatoria a la disminución de la resistencia fue caracterizada por un aumento en el volumen minuto exclusivamente debido a un aumento en la frecuencia respiratoria, mientras que el volumen tidal permaneció incambiado. Un aumento en el flujo espiratorio medio, en el pico espiratorio y una disminución en las variaciones de la presión intrapleurales fueron también observados. El presente trabajo muestra que la respiración de He-O₂ induce cambios muy similares en el modelo respiratorio en terneros. En oposición a esto, fue informado que la respiración de He-O₂ en ponies en reposo, no estaba asociada con ningún cambio importante en el volumen tidal, frecuencia respiratoria ni volumen minuto (Pan et al, 1987).

El hecho de que no haya diferencias entre los valores de Aire 1 y Aire 2, sugiere que los cambios respiratorios inducidos por el He-O₂ en los ponies en reposo, fueron principalmente debidos a cambios en las propiedades físicas del gas más que a otros factores como ser modificaciones en el diámetro de las vías aéreas.

La respiración de He-O₂ induce un 23% y un 40% de disminución de la resistencia pulmonar total en humanos (De Weese et al, 1983) y en ponies (Pan et al, 1987) respectivamente. En el presente estudio una disminución del 32% en la resistencia pulmonar total, fue también observada. En el hombre (Macklem and Wilson, 1965), en el caballo (Robinson and Sorenson, 1987; Willoughby et al, 1979) y en el bovino (Gustin et al, 1987), la contribución relativa de la resistencia de las vías aéreas superiores en la resistencia pulmonar total es del 80%. Esta contribución relativa importante de las vías aéreas superiores es particularmente asignada a la existencia de remolinos turbulentos y fricciones en esta parte del tracto res-

-piratorio (Art et al, 1988). La reducción de la resistencia de las vías aéreas al flujo de gas, está relacionada con la menor densidad de la mezcla He-O₂ y con secuentemente con la disminución de las turbulencias. Rohrer (1915) fue el primero que puntualizó que la densidad del flujo de gas en el árbol traqueobronquial es una de las determinantes de la resistencia de las vías aéreas.

En el tracto respiratorio, la relación entre el volumen del flujo y el gradiente de presión se expresa en la siguiente ecuación:

$$P = K_1 \dot{V} + K_2 \dot{V}^2$$

donde P es el gradiente de presión y \dot{V} el flujo. La parte lineal de la ecuación representa el componente lineal del flujo y la constante K₁ la viscosidad del gas respirado. La parte cuadrática de la ecuación representa las turbulencias locales cuando ramas de la vía aérea cambian súbitamente de diámetro y la constante K₂ incluye la densidad del aire.

Sustituyendo el aire por una mezcla de 80% de He y 20% de O₂, la densidad del gas respirado decrece, pero altera sólo ligeramente la viscosidad y por esta razón cambia la constante K₂ sin afectar mayormente K₁.

El hecho de que la disminución en la resistencia pulmonar total sea más importante en caballos y en terneros que en el hombre, sugiere que en los grandes animales las turbulencias que ocurren en los turbinetes nasales, encrucijada nasofaríngea y laringea, son más importantes que en el hombre.

Estudios realizados en vacas (Lekeux et al, 1988b) y en ponies (Art et al, 1989) muestran que, a diferencia del hombre, la inercia pulmonar no debe ser despreciada en los grandes animales. La inercia pulmonar es directamente proporcional a la densidad del fluido respirado. Por esta razón, la reducción del trabajo mecánico respiratorio por litro, aunque ampliamente explicado por la disminución de la resistencia pulmonar total, puede ser también consecuencia de la disminución de la presión necesaria para la aceleración del flujo.

SUMMARY

The mechanics of breathing was investigated in six healthy calves breathing either air or a mixture of 79% helium and 21% oxygen (He-O₂). Intrapleural pressure (Ppl) was measured with an esophageal balloon catheter and transpulmonary pressure was obtained by subtracting the mouth pressure (Pm) from Ppl.

Respiratory airflow (\dot{V}) was measured using a Fleish pneumotachograph N° 3 and tidal volume (Vt) was electronically derived by integrating \dot{V} with respect to time. Respiratory airflow, Vt, Ppl and Pm were simultaneously recorded while the calves breathed first air (1 min), secondly He-O₂ (1 min) and finally air again (1 min). The pulmonary function values were calculated on the tracings and He-O₂ values were compared to the corresponding "air" values.

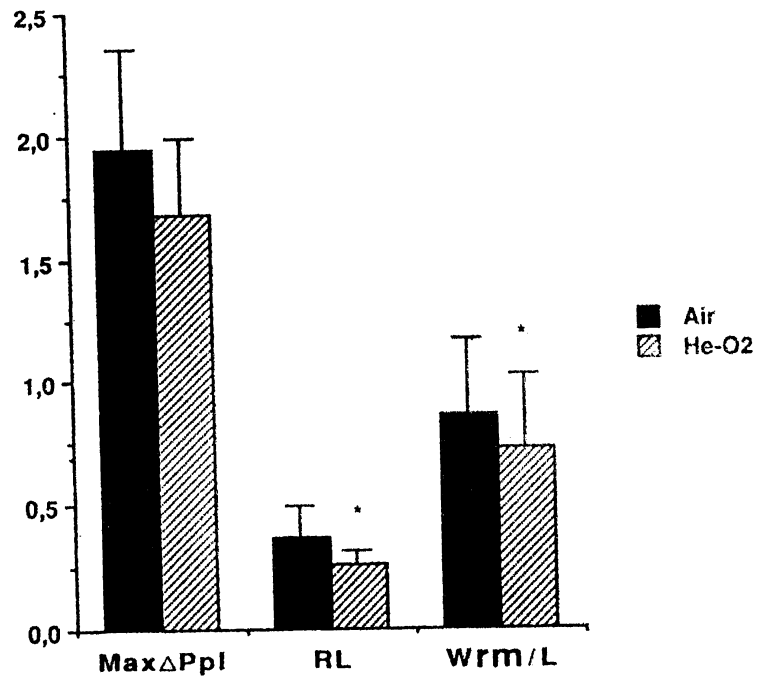
The ventilatory response to resistance unloading was characterized by a significant increase in minute volume exclusively due to an increase in respiratory frequency, while Vt remained unchanged. A decrease of 32% in the total pulmonary resistance (RL) and 16% in the work per litre of ventilation (W_{rm}/L) were observed when calves breathed He-O₂.

The effect of the He-O₂ on RL and W_{rm}/L suggest that, on the bovine species, airflow turbulences in the upper part of the respiratory tract play a significant role in the total airways resistance.

BIBLIOGRAFIA.

1. ART, T.; LEKEUX, P.; GUSTIN, D.; DESMECHT, H.; AMORY and PAIVA, M. The inertance of the respiratory system in ponies. *J. Appl. Physiol.* 67: 539-545, 1989.
2. ART, T.; SERTEYN, D. and LEKEUX, P. Effect of exercise on the partitioning of equine respiratory resistance. *Eq. Vet. J.* 20: 268-273, 1988.
3. DE WEESE, E.; SULLIVAN, Thomas Y. and Yu, Pao L. Ventilatory and occlusion pressure responses to helium breathing. *J. Appl. Physiol.* 54: 1525-1531, 1983.
4. GUSTIN, P.; BAKIMA, M.; LEKEUX, P.; LOMBA, F. and VANDE WOESTIJNE, K.P. Partitioning of pulmonary resistance in double muscled and Friesian calves. *Respir. Physiol.* 69: 299-306, 1987.
5. LEKEUX, P.; and ART, T. Functional changes induced by necrotic laryngitis in double muscled calves. *Vet. Rec.* 121: 353-355, 1987.
6. LEKEUX, P.; ART, T. and AMORY, H. The effect of common bovine respiratory diseases on tidal breathing flow volume loops. *Vet. Res. Com.* 12: 463-473, 1988a.
7. LEKEUX, P.; ART, T.; CLERCX, C. and GUSTIN, P. Influence of inertance on measurements of the mechanical properties of the bovine respiratory system. *Vet. Res. Com.* 12: 61-66, 1988b.
8. LEKEUX, P.; HAJER, R.; BOON, J.H.; VERSTEGEN, M.W.; and BREUKINK, H.J. Physiological effects of experimental verminous bronchitis in Friesian calves. *Can. J. Comp. Med.* 49: 205-207, 1985a.
9. LEKEUX, P.; HAJER, R. and BREUKINK, H.J. Intrathoracic pressure measurement in cattle: standardized procedure. *Can. J. Comp. Med.* 48:420-421, 1984a.
10. LEKEUX, P.; HAJER, R. and BREUKINK, H.J. Pulmonary function testing in calves: technical data. *Am. J. Vet. Res.* 45: 342-345, 1984b.
11. LEKEUX, P.; HAJER, R. and BREUKINK, H.J. Upper airway resistance in healthy Friesian cattle. *Res. Vet. Sci.* 38: 77-79, 1985b.
12. LEKEUX, P.; KYAVU, A.; CLERCX, C.; ANSAY, M. Pulmonary function changes induced by experimental dichlorvos toxicosis in calves. *Res. Vet. Sci.* 40: 318-321, 1986.
13. LEKEUX, P.; VERHOEFF, J.; HAJER, R. and BREUKINK, H.J. Respiratory syncytial virus pneumonia in Friesian calves: physiological findings. *Res. Vet. Sci.* 39: 324-327, 1985c.
14. MACKLEM, P.T. and WILSON, N.J. Measurements of intrabronchial pressure in man. *J. Appl. Physiol.* 20: 653-663, 1965.
15. NATTIE, E.E. and TENNEY, S.M. The ventilatory response to resistance unloading during muscular exercise. *Resp. Physiol.* 10: 249-262, 1970.
16. PAN, L.G.; FORSTER, H.V.; BISGARD, G.E.; LOWRY, T.F. and MURPHY, C.L. Role of carotid chemoreceptors and pulmonary vagal afferents during helium-oxygen breathing in ponies. *J. Appl. Physiol.* 62:1020-1027, 1987.
17. POUPLARD, L.; LEKEUX, P. and DETRY, M. Efficacy of Ivermectin and Levamisole against immature *Dictyocaulus viviparus* in cattle. *Vet. Rec.* 118: 557-559, 1986.

18. ROHRER, F. Der Strömungswiderstand in den menschlichen Atemwegen und der Einfluss der unregelmässigen Verzweigung des Bronchialsystems auf den Atmungsverlauf in verschiedenen Lungenbezirken. Pflügers Archibes. 162: 225-299, 1915.
19. ROBINSON, N.E. and SORENSON, P.R. Partitioning of upper airway resistance in the horse. Fed. Proc. 34: 402, 1976.
20. WILLOUGHBY, R.A. and MC DONNELL, W.N. Symposium on Equine Respiratory Disease. Vol. 1, N°1, 1979.



FIGURAS

Fig. 1 Efecto de la densidad del gas en la frecuencia respiratoria (RF), volúmen tidal (Vt) y volúmen minuto (V_e) durante la respiración de aire y de He-O₂.

* Diferencia significativa P < 0,05.

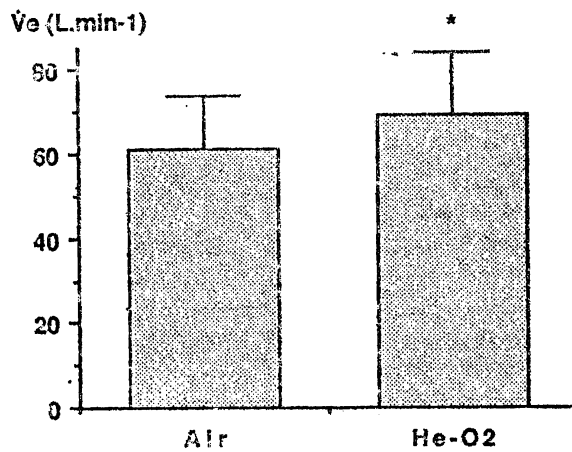
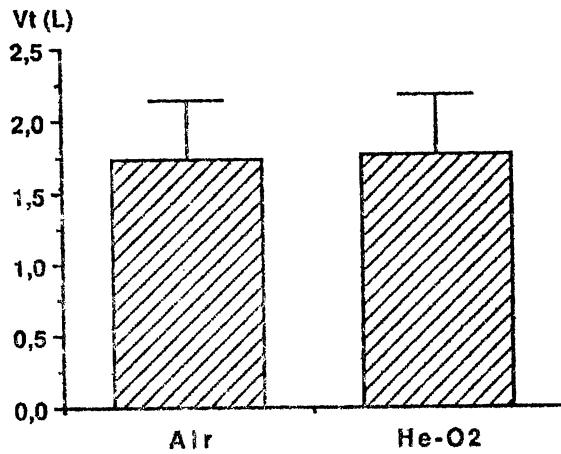
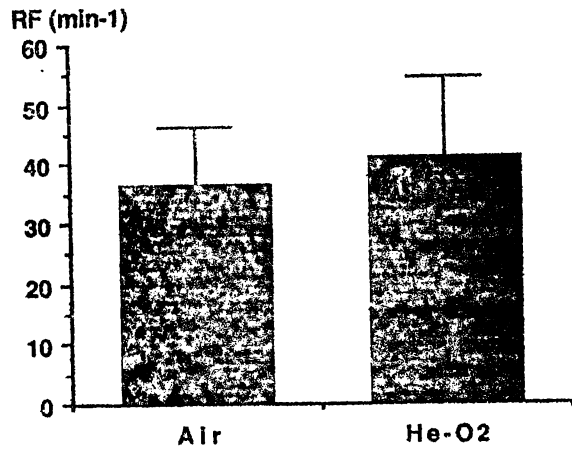


Fig. 2 Cambios en las variaciones máximas de presión transpulmonar ($\max \Delta P_L$) (kPa), resistencia pulmonar total (RL) ($\text{kPa} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{seg}$) y trabajo por litro de ventilación (W_{rm}/L) ($\text{J} \cdot \text{L}^{-1}$) durante la respiración de He-O₂.

* Diferencia significativa $P < 0,05$.

Table 1: Pulmonary function values from 5 healthy calves during air and He-O2 breathing. See text for keys

Values	Unit	Air1	He-O2	Air2
tI/tTOT		0.50 ± 0.03	0.48 ± 0.04	0.48 ± 0.03
$\dot{V}I_{max}$	L/sec	2.29 ± 0.48	3.06 ± 0.88*	2.40 ± 0.39
$\dot{V}E_{max}$	L/sec	3.05 ± 0.99	3.63 ± 0.83*	2.68 ± 1.00
m $\dot{V}I$	L/sec	1.98 ± 0.42	2.34 ± 0.34**	1.98 ± 0.26
m $\dot{V}E$	L/sec	2.00 ± 0.40	2.24 ± 0.61*	1.89 ± 0.37
PLmin	kPa	-2.22 ± 0.48	-2.00 ± 0.39*	- 2.09 ± 0.42
PLmax	kPa	-0.27 ± 0.26	-0.32 ± 0.33	- 0.26 ± 0.26
PLFRC	kPa	-0.73 ± 0.21	-0.62 ± 0.25*	- 0.68 ± 0.24
Cdyn	L/kPa	2.77 ± 0.83	2.83 ± 0.79	2.85 ± 1.10
Wrm	J	1.56 ± 0.85	1.34 ± 0.87	1.47 ± 0.94

* : significantly different from Air1 values with $P \geq 0.05$; ** : $P \geq 0.01$