

Instituto Español de Fisiología y Bioquímica  
Sección de Fisiología Aplicada de Pamplona

## Electromiografía de músculos respiratorios en la tos, en los reflejos de la glotis y en el vómito

por

J. Jiménez-Vargas, M. Asirón, J. Voltas y J. Onaindía

(Recibido para publicar el 3 de enero de 1967)

En trabajos anteriores sobre efectos reflejos en los que participan los músculos respiratorios, hemos publicado nuestros primeros resultados sobre la coordinación de contracción característica de cada uno de los tipos de respuestas. Lo que define la tos por excitación traqueal es la contracción brusca de los músculos espiratorios con relajación simultánea de los inspiratorios, y amplia dilatación de la glotis (10). Lo esencial de la respuesta a la excitación mecánica a nivel del esfínter laríngeo es un efecto inhibitor, es decir, interrupción momentánea de las contracciones, tanto de músculos inspiratorios como espiratorios, con todo el aspecto de apnea espiratoria, y además constricción simultánea del esfínter laríngeo (11). Y lo que caracteriza la respuesta emética es la contracción simultánea del diafragma y los músculos espiratorios abdominales, con constricción del esfínter laríngeo por predominio de la contracción de los músculos constrictores, si bien el vómito puede empezar por una amplia dilatación de la laringe

(13, 14). Estas conclusiones, aunque en nuestras anteriores comunicaciones las consideramos como consecuencias ciertas del análisis de los efectos mecánicos propios de cada una de las respuestas, necesitaban una comprobación por medio del registro electromiográfico. Este es el objeto fundamental de las investigaciones que seguidamente exponemos, cuyo interés evidencia, por otra parte, el estudio de la bibliografía.

Por medio del registro electromiográfico, se han estudiado diversas características de los movimientos respiratorios en el hombre (1, 2, 3, 4, 9, 20, 21), en el perro (6, 19), en el cobaya (5, 16, 17) y en el gato (8, 15). Por otra parte es sugestivo el registro de potenciales en el bulbo (7) y de las descargas en el frénico y músculos abdominales (22), en relación con excitaciones aferentes. Pero en toda esta bibliografía no encontramos datos adecuados para la interpretación de los problemas que nos planteamos.

### Material y métodos

Todas las experiencias en perros descerebrados por sección mediocolicular (12), preparando el animal unas 24 horas antes, para tener seguridad de la recuperación operatoria, cuidando además de evitar la hipotermia.

Obtenemos los registros siguientes: electromiograma (EMG) de músculos inspiratorios y espiratorios, principalmente diafragma y oblicuo abdominal externo, simultáneamente a las demás gráficas; resistencia de la glotis separada, medida por medio de una corriente de aire registrando la presión, según el método empleado sistemáticamente en investigaciones anteriores (10); presión pleural; neumotacograma (NTG); espirograma; presiones intraabdominal e intragástrica por medio de dispositivos adecuados de caucho (14). Por razones de orden práctico, no hemos registrado todas las gráficas en el mismo papel. En general obtenemos en el dinógrafo el EMG, la presión traqueal y la presión gástrica, y en otro quimógrafo las restantes gráficas. Como en los dos aparatos el paso de papel se hace exactamente a la misma velocidad, los registros son fácilmente superponibles, como puede verse en las figuras que representan los resultados.

Para el registro del EMG utilizamos electrodos de 2 a 3 mm, separados entre sí unos 5 mm, implantados en la masa muscular, o sólidamente fijados por aposición sobre el músculo. Empleamos los de implantación para abdominales e intercostales, y de aposición en el diafragma. Este último se adapta a su cara interna mediante una pinza especialmente preparada para este objeto, que apoya por su otra rama en la parte correspondiente de la pared externa del tórax, a unos 7 cm del ángulo costoxifoideo en dirección a la pata anterior derecha. Con este sistema, en general, no se pro-

duce perturbación del registro por mal contacto, y la posición de electrodos resulta muy selectiva para captar los potenciales del diafragma sin parásitos procedentes de otros músculos próximos o del corazón. Para no dificultar la circulación del músculo y evitar lesiones de isquemia, conviene cuidar que la presión no sea excesiva, incluso en experiencias muy prolongadas cambiar de zona de aplicación del electrodo. El electrodo del abdominal se inserta en el oblicuo superficial, a nivel de la zona media del abdomen, y uno a dos cm por fuera de la vaina del recto. El electrodo intercostal se inserta en el intercostal interóseo externo del octavo espacio intercostal, a nivel de la línea axilar anterior. Conexión al dinógrafo mediante un chasis acoplador especial para electromiografía, que permite pasar del registro directo al integrado, simplemente por un cambio de posición del interruptor. En general obtenemos preferentemente la gráfica integrada. El dinógrafo se prepara para una sensibilidad de 1 mV/cm, y en estas condiciones la máxima contracción suele ser de 3 a 4 cm. Las causas de error más corrientes — por interferencias de parásitos, y sobre todo la eventual inseguridad del contacto de los electrodos — podrían quedar enmascarados por completo en la gráfica integrada, pero son fácilmente valorables en la gráfica de registro directo. Por eso, el cambio de registro integrado a directo puede resultar útil para estas comprobaciones.

Para provocar el vómito empleamos apomorfina a la dosis de 50 microg/Kg, con la que hay seguridad de obtener clara respuesta emética, llenando previamente el estómago con un volumen de líquido suficiente para producir un aumento de presión intragástrica de unos 15 cm de agua.

Para la excitación de la tráquea empleamos un dispositivo de cerdas de pin-

cel, en disposición radial previamente colocado en la cánula, que no influye para nada la resistencia, y puede desplazarse fácilmente a la tráquea sin interrumpir la comunicación de las vías respiratorias con el espirómetro. Y para la excitación laríngea un pincel del mismo tipo.

## Resultados

### RESPIRACIÓN ESPONTÁNEA

En la respiración tranquila — lo usual en el animal descerebrado — que tomamos como control de referencia para el resto de los ensayos, los únicos músculos que dan actividad eléctrica apreciable en todos los casos son el diafragma y los intercostales (figs. 1 y 3). El EMG del diafragma corresponde estrictamente a la gráfica inspiratoria del NTG y del espirograma. El intercostal muestra actividad poco intensa durante parte de la fase espiratoria. En la respiración espontánea de gran amplitud — por ejemplo en la fase de excitación por la apomorfina — la actividad del diafragma aumenta proporcionalmente, y la actividad de este músculo intercostal espiratorio es bien manifiesta.

El oblicuo abdominal externo es el que utilizamos para valorar la contracción muscular espiratoria abdominal, porque el registro siempre es netamente espiratorio, aunque dado su bajo voltaje puede considerarse prácticamente inactivo en la mayoría de los registros de respiración tranquila. Es poco corriente encontrar un trazado como el de la figura 1, I.

### EFFECTO DE LA EXCITACIÓN TRAQUEAL

La respuesta es una serie de golpes de tos. Los trazados electromiográficos se representan en las figuras 1, III y 4, I.

*Músculos inspiratorios.* La actividad del diafragma, más fuerte que en la res-

piración de control, es típicamente inspiratoria, y cesa algo después de iniciarse la contracción convulsiva de los músculos espiratorios. Esta fase en que se registra el EMG de los dos músculos es tan breve que, en general, apenas se puede apreciar, pero medible por la relación del EMG con los registros de NTG y presión traqueal correspondientes al comienzo de la expulsión brusca de aire (fig. 1, II).

*Músculos espiratorios.* Elevación casi vertical del EMG que termina tan bruscamente como comenzó. Gráficas de este tipo, como en aguja, son muy manifiestas en el registro de los intercostales, pero en los abdominales, la interrupción de la actividad puede ser más lenta, por lo menos en su última parte.

Las contracciones que representan los trazados expuestos explican la expulsión brusca del aire con fuerte aceleración inicial, que es el aspecto físico fundamental del golpe de tos. La contracción espiratoria, en su fase inicial puede considerarse isométrica porque alcanza su valor máximo, casi instantáneamente, cuando todavía no ha cambiado nada el volumen inspiratorio porque se mantiene aún la contracción de los músculos inspiratorios. Y cuando los inspiratorios se relajan, domina la contracción convulsiva espiratoria, con lo que se produce la brusca aceleración inicial de la corriente de aire.

### EFFECTO DE LA EXCITACIÓN LARÍNGEA

La excitación mecánica a nivel de las cuerdas vocales por medio de un pincel, produce una respuesta que, cuando es fuerte, es muy característica: interrupción momentánea de la respiración con cierre de la glotis. Hay, como es lógico, amplias variaciones de un caso a otro, pero siempre se registra disminución generalizada de la actividad eléctrica de los músculos respiratorios (figs. 2 y 3).

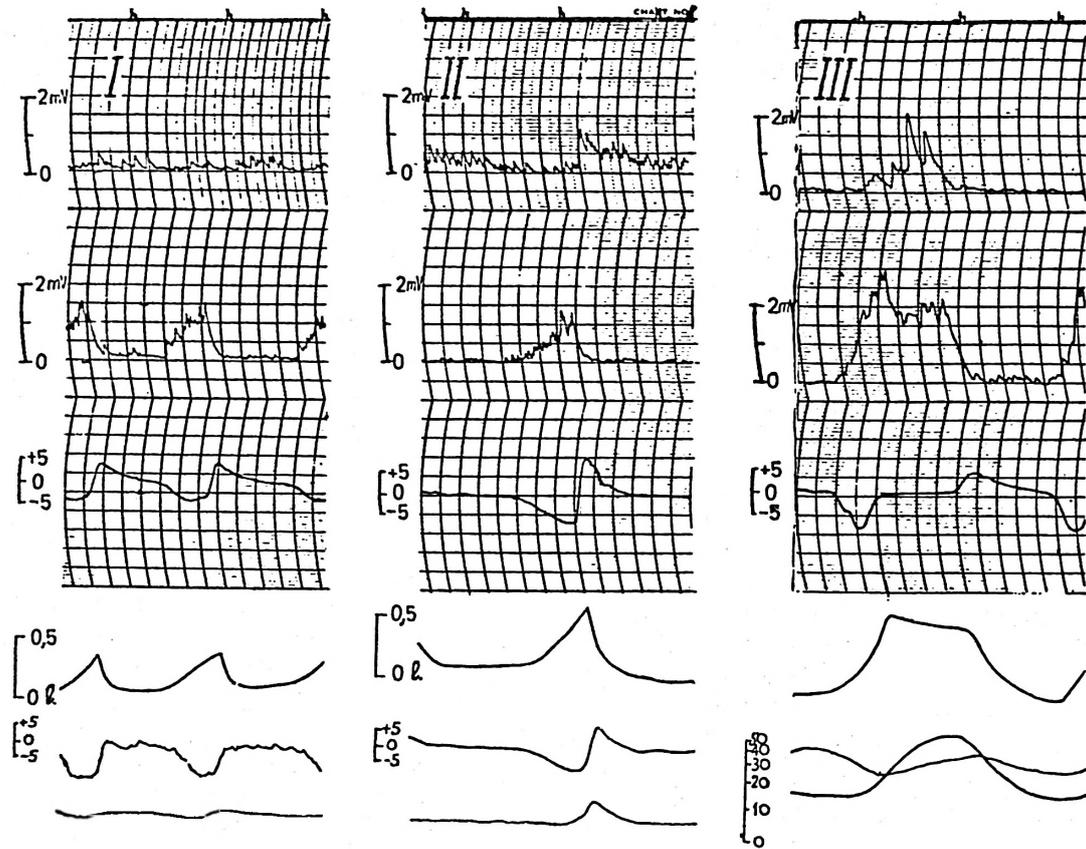


FIG. 1. Gráficas, de arriba abajo: EMG integrado del oblicuo externo de abdomen, EMG del diafragma, presión traqueal, espirograma, presión pleural, presión gástrica.  
I) Respiración espontánea de control. II) Tos. III) Vómito.

*Músculos inspiratorios.* El EMG del diafragma, de muy bajo voltaje — comparativamente con el movimiento respiratorio que le precede —, corresponde a la interrupción de la expansión inspiratoria del tórax que en el espirograma aparece como inspiración más lenta y de menos volumen. A veces se retrasa el comienzo de la contracción del diafragma, con lo que el efecto comienza por alargamiento de la pausa espiratoria.

*Músculos espiratorios.* El EMG, en general, llega a desaparecer del registro.

Este tipo de trazados significa inhibición generalizada de las contracciones

musculares de acuerdo con lo que observamos en experiencias anteriores, y, por lo tanto, el efecto es apnea espiratoria aunque de breve duración. La persistencia de la posición final inspiratoria con disminución gradual de volumen (fig. 3, I y II) no contradice esta explicación, porque esta posición inspiratoria no implica contracción de músculos inspiratorios, como evidencia el EMG del diafragma en este caso, y probablemente es sólo espiración lenta, menos activa que en el control, por la relajación del intercostal espiratorio, posiblemente influida por un cierto grado de aumento de resistencia de las vías respiratorias.

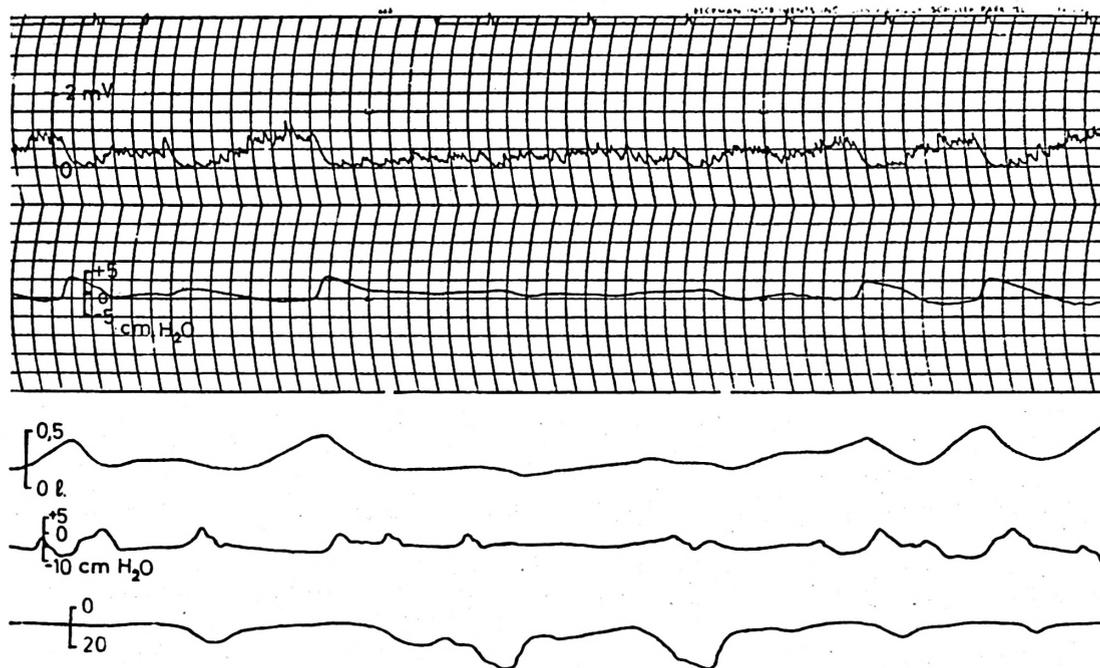


FIG. 2. Gráficas, de arriba abajo: EMG del diafragma, presión traqueal, espirograma, presión pleural, resistencia de la glotis. Efecto de la excitación mecánica de la glotis.

### VÓMITO

El efecto característico de la acción emética central es una serie de fuertes contracciones sinérgicas de músculos que en los movimientos respiratorios actúan como antagonistas.

*Músculos inspiratorios.* El EMG del diafragma de más voltaje que en la tos es superponible al aumento de presión en el estómago, de tal modo que las curvas coinciden tanto en la subida como en la bajada, coincidiendo también con el descenso inspiratorio de la presión traqueal. En algún registro en el que la gráfica del estómago aparece a veces con dos máximos, el EMG del diafragma también presenta los dos máximos, ejemplo bien demostrativo del estricto paralelismo de los dos registros.

*Músculos espiratorios abdominales.* El EMG del oblicuo externo es paralelo al aumento de presión gástrica, y en

general en plena fase inspiratoria — con presión traqueal todavía muy negativa — aparece claramente y en ocasiones el voltaje es máximo. La contracción abdominal siempre es más enérgica que en la tos.

*Músculos intercostales espiratorios.* La actividad no es constante en un mismo animal, y varía ampliamente de unos casos a otros, en relación probablemente con la morfología torácica del perro, pero siempre es de más bajo voltaje que en la tos, a diferencia de lo que observamos en el diafragma y el oblicuo del abdomen. El EMG intercostal, según el trazado que obtenemos en la mayoría de los casos, dura menos que la onda del estómago, porque la contracción comienza cuando la presión gástrica ya está aumentada, y termina al mismo tiempo. Sin embargo, en algunas gráficas la duración y el aspecto de los dos trazados es muy semejante y paralelo.

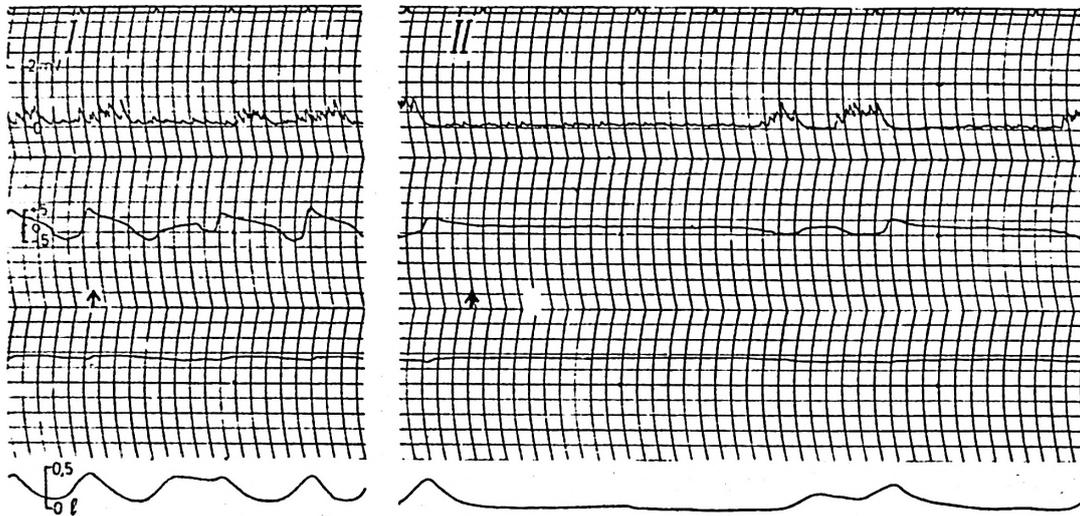


FIG. 3. I) Gráficas, de arriba abajo : EMG del intercostal interóseo en el octavo espacio, presión traqueal, presión gástrica, y espirograma. Efecto de la excitación traqueal, aplicada donde marca la flecha. II) EMG del diafragma, presión traqueal, presión gástrica, y espirograma. El efecto de la excitación laríngea se inicia por una prolongación de la pausa espiratoria.

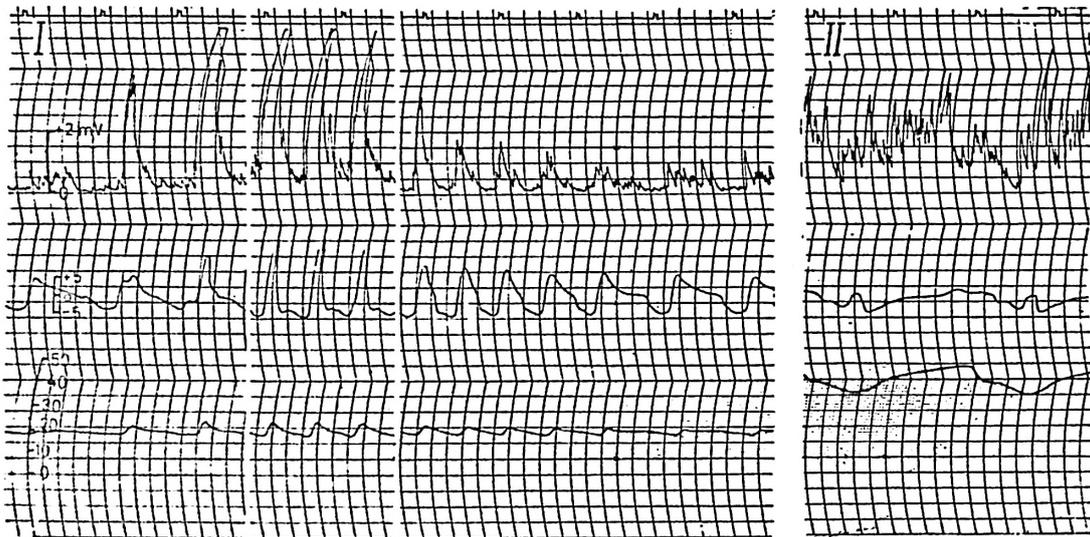


FIG. 4. Gráficas, de arriba abajo : EMG intercostal, presión traqueal, y presión gástrica. I) Tos. Corresponde a golpes de tos del comienzo del acceso, de la parte media, y del final, suprimiendo algunos prácticamente iguales a los que se reproducen. II) Vómito. Corresponde a la parte media de un acceso.

El EMG del intercostal espiratorio se puede registrar incluso en fase inspiratoria (fig. 4, II). En estas condiciones concretas la contracción intercostal tiende a impedir el aumento de volumen pulmonar, y se puede decir que fija la pared torácica. Al mismo tiempo, actúa la contracción del diafragma y, como la pared torácica se ha convertido en inserción fija, la resultante es compresión del contenido abdominal.

Los registros evidencian la correlación de los EMG del diafragma y el oblicuo abdominal externo, dato de interés fundamental para la interpretación del mecanismo del vómito. Estos dos músculos — uno exclusivamente inspiratorio y otro típicamente espiratorio — se contraen con evidente sincronismo desde la fase inspiratoria (fig. 1, III). Puede observarse que el EMG abdominal alcanza ya un valor importante cuando la presión traqueal es inspiratoria — y también inspiratorio el trazado del NTC — paralelamente al EMG del diafragma. Después sigue una fase que se registra cuando el NTC está en la línea cero, y en el espirograma la posición inspiratoria se mantiene. En estos momentos la presión abdominal alcanza el máximo. Resulta por lo tanto que la inspiración se mantiene en posición de apnea inspiratoria, con contracción fija del diafragma sin desplazamiento, y durante esta fase se produce la fuerte expulsión del contenido gástrico. Los intercostales parecen tener una función muy secundaria — dentro de su gran variabilidad — como de fijación de la pared torácica.

### Discusión

Los resultados expuestos creemos que confirman nuestras anteriores sugerencias acerca de la coordinación de contracciones musculares en la tos y su relación con el fenómeno mecánico.

En cuanto al vómito, podemos formular una conclusión sobre las fuerzas decisivas para la expulsión del contenido gástrico. La fase de expulsión del vómito comienza por la contracción sinérgica del diafragma y los músculos espiratorios, lo que en conjunto en sentido estricto podríamos llamar prensa abdominal. En la primera parte, el desplazamiento del diafragma, junto con la contracción de otros músculos inspiratorios, basta para un cierto grado de aumento de volumen pulmonar, hasta que la contracción inspiratoria, aunque se mantiene, deja de tener eficacia para el aumento de volumen. En este momento es máxima la contracción abdominal, y coincide con un valor máximo también de presión gástrica, estableciéndose así un gradiente de presión suficiente para vencer la resistencia al vaciamiento del estómago. Por lo tanto, la conclusión puede ser la siguiente: el efecto enérgico se produce por una contracción de músculos inspiratorios, principalmente el diafragma, y contracción simultánea de los espiratorios; y en consecuencia hay que admitir que — como resultado de la excitación aferente, o por la acción química central — ha cambiado la coordinación motora produciéndose la contracción simultánea de músculos antagonistas.

Por otra parte, hay que explicar también la llamada función de protección de las vías respiratorias. En el animal normal, la contracción más o menos enérgica del esfínter laríngeo, indudablemente puede cumplir una función eficaz en este sentido. Pero en el animal des-cerebrado, la resistencia de la glotis apenas cambia en muchos casos, e incluso no es raro observar vómito característico, de eficacia de expulsión enteramente normal, sin cambio ninguno en la resistencia de la glotis, que por lo tanto resulta de importancia secundaria en cuanto al efecto protector. Por otra parte, la

persistencia de la contracción inspiratoria durante la fase de expulsión con relajación lenta — apnea inspiratoria — previene la entrada de contenido gástrico por la laringe, sobre todo cuando en la fase de expulsión, tiende a la espiración, lo cual contribuye a impedir, evidentemente, todo posible efecto aspirante hacia la laringe.

Los registros electromiográficos en la respiración espontánea del perro descerebrado sugieren una serie de interpretaciones que completan investigaciones anteriormente realizadas en nuestro laboratorio (18). Pero su estudio no era objeto de este trabajo y lo trataremos en una publicación próxima, limitándonos ahora a utilizarlos simplemente como control para valorar el EMG obtenido en las respuestas a la excitación traqueal y laríngea y en el vómito.

### Resumen

Se realiza un estudio experimental de reflejos de las vías respiratorias y el vómito por medio del registro del electromiograma (EMG) de músculos inspiratorios y espiratorios. Todas las experiencias han sido realizadas en perros, previa descerebración mediocolicular, 24 horas antes.

Se obtienen los siguientes resultados. En la tos el EMG del diafragma es de más voltaje que en la respiración de control. La contracción espiratoria del músculo abdominal alcanza su valor máximo cuando todavía no se ha iniciado la corriente de aire de la espiración. Y en el momento en que los músculos inspiratorios se relajan, domina esta contracción convulsiva espiratoria con lo que se produce la brusca aceleración inicial de la corriente de aire, propia del golpe de tos.

La excitación laríngea a nivel de las cuerdas vocales produce disminución generalizada de la actividad eléctrica de los músculos respiratorios.

Lo característico del vómito es la contracción sinérgica de músculos inspiratorios y espiratorios, produciéndose así una fuerte elevación de la presión gástrica suficiente para determinar el vaciamiento gástrico.

### Summary

#### Electromyography of respiratory muscles

The respiratory track reflexes and the vomit are studied by electromyogram registers (EMG) of the inspiratory and expiratory muscles. The experimental animal, was the midcollicular decerebrated dog, carried out 24 hours previous to the experiment.

The following data were simultaneously collected: the integrated EMG of the diaphragm and the oblique abdominal external muscle, the resistance of the separated glottis by the authors original method (10), pleural pressure, pneumotachogram, spirogram, and intraabdominal and intragastric pressures. The vomit was provoked by apomorphine. The following results were obtained.

*Effects of tracheal excitation.* The EMG of the diaphragm of the excited animal shows a greater potential than in the control animal. It is observed that the final portion of the diaphragm EMG is overlapped by the beginning of the abdominal muscle EMG.

The expiratory contraction of the abdominal muscle must be isometric during the first portion of its contraction because it reaches the maximum state of contraction before the current of expiratory air begins. As the inspiratory muscles relax the convulsive expiratory contraction dominates, producing the initial rapid acceleration of the air current typical of the cough.

*Effects of larynx excitation.* A mechanical stimulation at vocal cord level always diminishes the general muscular activity of the respiratory muscles. This inhibition of the muscular contraction is called by the authors expiratory apnea.

*The vomit.* The characteristic effect is a violent synergic contraction of both the inspiratory and expiratory muscles,

wich obviously are antagonist on respiratory movements. The EMG of the diaphragm has more potential than in the cough. The oblique external muscle registers an EMG already in the inspiratory phase and is more contracted than in the cough. The correlation of the two EMG, that of the diaphragm and that of the oblique external muscle, is essential for an interpretation of the vomit mechanism. This mechanism, on the basis of the EMG data, can be described as a simultaneous contraction of the diaphragm and the abdominal expiratory muscles, strongly increasing the gastric pressure enough to empty the stomach.

#### Bibliografía

1. AGOSOINI, E., SANT'AMBROGIO, G., y DEL PORTILLO CARRASCO, H.: *J. Appl. Physiol.*, **15**, 1093, 1960.
2. AGOSOINI, E.: *J. Appl. Physiol.*, **18**, 30, 1963.
3. CAMPBELL, E. J.M.: *J. Physiol.*, **117**, 222, 1952.
4. CAMPBELL, E. J.M., y GREEN, J. H.: *J. Physiol.*, **120**, 409, 1953.
5. DESOLE, C., y SOTGIU, M. L.: *J. Appl. Physiol.*, **21**, 503, 1966.
6. DOTY, R. W., y BOSMA, J. F.: *J. Neurophysiol.*, **19**, 44, 1956.
7. ENGELHORN, R., y WELLER, E.: *Pflügers Arch. ges. Physiol.*, **284**, 224, 1965.
8. FLOERSHEIM, G. L.: *Helv. physiol. pharmacol. Acta*, **18**, 17, 1960.
9. GREEN, H. J., y HOWEL, J. B. L.: *J. Physiol.*, **149**, 471, 1959.
10. JIMÉNEZ-VARGAS, J.: MOURIZ, A., y MIRANDA, J.: *R. esp. Fisiol.*, **15**, 123, 1959.
11. JIMÉNEZ-VARGAS, J., MIRANDA, J., y MOURIZ, A.: *R. esp. Fisiol.*, **18**, 7, 1962.
12. JIMÉNEZ-VARGAS, J., FLÓREZ, J., y VOLTAS, J.: *R. esp. Fisiol.*, **20**, 89, 1964.
13. JIMÉNEZ-VARGAS, J., VOLTAS, J., y FLÓREZ, J.: IX Reunión Nacional de la Sociedad Española de Ciencias Fisiológicas. Pamplona, 1965.
14. JIMÉNEZ-VARGAS, J., ASIRÓN, M., y VOLTAS, J.: *R. esp. Fisiol.*, **22**, 173, 1966.
15. MASSION, J., MOULDERS, M., y COLLE, J.: *Arch. Intern. Physiol.*, **68**, 314, 1960.
16. MEDA, E.: *Arch. Fisiol.*, **56**, 157, 1956.
17. MEDA, E., y FERRONI, A.: *Arch. Fisiol.*, **59**, 148, 1959.
18. MOURIZ, A.: *R. esp. Fisiol.*, **13**, 131, 1957.
19. OGAWA, T., JEFFERSON, N. C., TOMAN, J. E., CHILES, T., ZAMBETOGLU, A., y NECHELES, H.: *Am. J. Physiol.*, **199**, 569, 1960.
20. PETIT, J. M., MILIC-EMILI, G., y DELHEZ, L.: *J. Appl. Physiol.*, **15**, 1101, 1960.
21. TOKIZANE, T., KAWAMATA, K., y TOKIZANE, H.: *Japan. J. Physiol.*, **2**, 232, 1952.
22. YAMAMOTO, S.: *Exptl. Neurol.*, **13**, 402, 1965.

