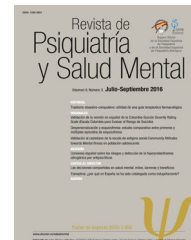




Revista de Psiquiatría y Salud Mental

www.elsevier.es/saludmental



ORIGINAL

Inducción de hipocapnia e hiperoxia con maniobras de hiperventilación reglada en la terapia electroconvulsiva



Aida de Arriba-Arnau^a, Antonia Dalmau^b, Neus Salvat-Pujol^a, Virginia Soria^{a,c},
Javier Bocos^b, José Manuel Menchón^{a,c} y Mikel Urretavizcaya^{a,c,*}

^a Grupo de Neurociencias del Institut d'Investigació Biomèdica de Bellvitge (IDIBELL), Unidad Clínica y de Investigación de Trastornos Afectivos, Servicio de Psiquiatría, Hospital Universitari de Bellvitge-Institut Català de la Salut (ICS), L'Hospitalet de Llobregat, Barcelona, España

^b Servicio de Anestesiología y Reanimación, Hospital Universitari de Bellvitge-Institut Català de la Salut (ICS), L'Hospitalet de Llobregat, Barcelona, España

^c Centro de Investigación Biomédica en Red de Salud Mental (CIBERSAM) G17, Universitat de Barcelona (UB), Barcelona, España

Recibido el 5 de enero de 2016; aceptado el 19 de abril de 2016

Disponible en Internet el 13 de junio de 2016

PALABRAS CLAVE

Terapia
electroconvulsiva;
Hiperventilación;
Hipocapnia;
Convulsiones;
Capnografía

Resumen

Introducción: La hiperventilación en las sesiones de terapia electroconvulsiva se ha relacionado con el umbral convulsivo, las características de la convulsión y los efectos cognitivos. No existe consenso sobre el procedimiento óptimo de aplicación de las maniobras de hiperventilación durante la terapia electroconvulsiva.

Material y métodos: Evaluación prospectiva de los efectos del uso sistematizado de maniobras de hiperventilación con mascarilla facial y capnografía (hiperventilación reglada [HVR]) en los parámetros ventilatorios y de la convulsión. Muestra de 130 sesiones (65 realizadas con hiperventilación según la práctica habitual y 65 sucesivas con HVR) de 35 pacientes en un periodo de 10 semanas.

Resultados: Las maniobras de HVR disminuyeron el CO₂ espirado e incrementaron la saturación de O₂ significativamente ($p < 0,001$). La disminución media de CO₂ alcanzada fue de $6,52 \pm 4,75$ mmHg (IC 95% $-7,7$ a $-5,3$). Los valores de CO₂ tras la HVR correlacionaron significativamente con la duración de la convulsión, y los de O₂, con otros índices electroencefalográficos de calidad. En las sesiones con HVR, en comparación con las sesiones realizadas con hiperventilación según la práctica habitual, el alargamiento medio de la convulsión motora y electroencefalográfica fue de $3,86 \pm 14,62$ y de $4,73 \pm 13,95$ s, respectivamente, sin diferencias en los demás parámetros ictales.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: murretavizcaya@bellvitgehospital.cat (M. Urretavizcaya).

KEYWORDS

Electroconvulsive therapy;
Hyperventilation;
Hypocapnia;
Seizures;
Capnography

Conclusiones: Las maniobras de HVr propuestas modifican de forma relevante los parámetros ventilatorios. La hipocapnia y la hiperoxia obtenidas al aplicar estas maniobras alargan la duración de las convulsiones sin empeorar la calidad del trazado electroencefalográfico. El uso de protocolos de HVr es generalizable y puede mejorar el procedimiento de la terapia electroconvulsiva sin añadir costes.

© 2016 SEP y SEPB. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Hypocapnia and hyperoxia induction using a hyperventilation protocol in electroconvulsive therapy

Abstract

Introduction: Hyperventilation in electroconvulsive therapy sessions has been associated with seizure threshold, seizure characteristics, and cognitive effects. There is no consensus on the optimal procedure of applying hyperventilation manoeuvres during electroconvulsive therapy. **Material and methods:** Prospective evaluation of the effects of systematic use of hyperventilation manoeuvres with facial mask and capnography (protocolized hyperventilation [pHV]), on ventilation parameters and on seizures. The study included a sample of 130 sessions (65 performed according to hyperventilation standard practice and 65 successive sessions, with pHV) of 35 patients over a period of 10 weeks.

Results: The pHV manoeuvres reduced exhaled CO₂ and increased O₂ saturation significantly ($P < .001$). The average CO₂ reduction achieved was 6.52 ± 4.75 mmHg (95% CI -7.7 to -5.3). The CO₂ values after pHV correlated significantly with seizure duration and O₂ values, with other electroencephalographic quality indices. In pHV sessions, compared with sessions performed according to hyperventilation standard practice, the average lengthening of the motor and electroencephalographic seizure was 3.86 ± 14.62 and 4.73 ± 13.95 s, respectively. No differences were identified in other ictal quality parameters.

Conclusions: The proposed pHV manoeuvres significantly modify ventilation parameters. The hypocapnia and hyperoxia obtained by applying these manoeuvres lengthen the duration of seizures without worsening the quality of the electroencephalographic trace. The use of pHV is generalisable and might improve electroconvulsive therapy procedure without adding costs.

© 2016 SEP y SEPB. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

Las condiciones de administración del estímulo eléctrico en la terapia electroconvulsiva (TEC) influyen en el resultado del tratamiento y en los efectos secundarios. En este sentido, se han estudiado parámetros relativos al estímulo eléctrico como la carga, la amplitud de pulso, la localización de los electrodos y la influencia de los diferentes anestésicos. La evidencia disponible en cuanto a las características idóneas del soporte ventilatorio durante la TEC es escasa. En la literatura referente al procedimiento de la TEC y las guías de práctica clínica vigentes¹⁻⁵ se recomienda preoxigenar con niveles elevados de oxígeno (O₂), monitorizar y realizar asistencia ventilatoria con una ligera hiperventilación para favorecer la convulsión y evitar el riesgo de hipoxia durante el procedimiento. No se han consensado protocolos específicos de aplicación de la hiperventilación, incluyendo duración, tipo de maniobras ni los valores óptimos de dióxido de carbono (CO₂) requeridos. En la práctica clínica habitual, la hiperventilación suele realizarse a criterio del anestesiólogo que realiza la sesión de TEC. Se ha propuesto la hiperventilación como un método para optimizar la convulsión^{2,6,7}, ya que esta se asocia con una necesidad de cargas menores⁸⁻¹⁰

y un alargamiento de las crisis obtenidas^{8,10-13}. Además, se ha relacionado la hiperventilación con una mejora de los efectos cognitivos asociados a la TEC, ya que produce un acortamiento del tiempo de reorientación¹³ y una disminución de la incidencia del delirium postictal⁸.

La capnografía consiste en la medición no invasiva de la presión parcial de CO₂ y, mediante el end-tidal CO₂ (EtCO₂), o máxima concentración de CO₂ al final de cada espiración, proporciona información instantánea de la ventilación, la perfusión y el metabolismo del CO₂. Las medidas de EtCO₂ correlacionan estrechamente con los valores arteriales de CO₂ en pacientes sin enfermedad pulmonar¹⁴ y constituyen un signo precoz de potenciales efectos adversos respiratorios, como la obstrucción de la vía aérea, la insuficiencia respiratoria, la hipoventilación o la apnea¹⁵⁻¹⁹. La monitorización del EtCO₂ con capnografía durante la TEC se ha asociado con el mantenimiento de valores más bajos de CO₂ durante el procedimiento y un control más adecuado de los parámetros hemodinámicos²⁰.

El objetivo del presente estudio es evaluar los efectos de la utilización de maniobras de hiperventilación manual con mascarilla facial monitorizadas por capnografía, aplicadas de forma sistematizada y reproducible, que denominaremos

hiperventilación reglada (HVR). El objetivo principal es analizar los cambios de los parámetros ventilatorios producidos en las sesiones en las que se utilizan las maniobras de HVR, bajo la hipótesis de que estas disminuirán los valores de EtCO₂. Para estudiar la repercusión clínica de la HVR se ha definido como objetivo secundario la exploración de los efectos de dichas maniobras en las características de la convulsión obtenida, en comparación con la aplicación de hiperventilación según la práctica habitual.

Material y métodos

Evaluación prospectiva de una muestra de sesiones de TEC realizadas durante un periodo de 10 semanas (enero-marzo de 2014), en la unidad de TEC del Servicio de Psiquiatría del Hospital Universitario de Bellvitge. La indicación de TEC fue realizada en todos los pacientes por un psiquiatra referente, siguiendo las guías de buena práctica clínica.

Se incluyeron pacientes mayores de 18 años con condiciones de administración de la TEC estables (sin cambios en la carga, la dosis anestésica, los psicofármacos concomitantes ni en el número de días entre sesiones) en un mínimo de 2 sesiones previas a la inclusión en el estudio. Se excluyeron aquellos pacientes en los que la hiperventilación podía suponer un riesgo (por ejemplo, pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica en tratamiento broncodilatador y mujeres embarazadas), las sesiones en las que no se obtuvieron medidas de EtCO₂ basales válidas, las sesiones en las que se utilizaron fármacos vasoactivos y las sesiones que precisaron reestimulación o cambios en las condiciones de administración de la TEC.

Se realizaron 274 sesiones de TEC en 37 pacientes. Se excluyeron 2 pacientes por neumopatía y 120 sesiones por no cumplir los criterios de inclusión.

En cada paciente se aplicaron las 2 formas de hiperventilación en 2 sesiones consecutivas. En todos los casos el orden de aplicación fue hiperventilación según la práctica habitual en primer lugar, seguida de HVR en la siguiente sesión con los mismos parámetros de la TEC. Treinta pacientes se incluyeron en 2 ocasiones y 5 pacientes en una sola ocasión, estos últimos por finalizar el tratamiento con TEC antes de acabar el periodo del estudio. Se analizaron un total de 130 sesiones de TEC, 65 sesiones realizadas con maniobras de hiperventilación según la práctica habitual y 65 con aplicación de HVR utilizando mascarilla facial y capnografía.

El estudio fue aprobado por el Comité Ético de Investigación Clínica del Hospital Universitario de Bellvitge.

Procedimiento

La TEC se administró siguiendo las guías clínicas vigentes^{1,5}, con registro de electrocardiograma, frecuencia cardíaca, presión arterial y saturación de oxígeno (SpO₂) durante todo el procedimiento. Todos los pacientes se preoxigenaron con flujos altos de O₂ (10 L/min) mediante mascarilla facial conectada a un sistema de reanimación manual. Posteriormente, se administró anestesia con tiopental sódico (1,5-2,5 mg/kg) y succinilcolina (0,5 mg/kg), y se realizó una hiperventilación manual con pulsos amplios y duración variable (1-3 min). En la práctica habitual, la duración –tanto de la preoxigenación como de la hiperventilación

propiamente dicha– fue determinada a criterio del anestesiólogo (hiperventilación según la práctica clínica habitual). Seguidamente, se administró el estímulo eléctrico con el dispositivo Thymatron® System IV, con pulso breve (0,5-1 ms), emplazamiento de electrodos bifrontotemporal y carga entre 1,5 y 2,5 veces el umbral convulsivo del paciente. Después de la crisis, se asistió al paciente hasta la recuperación de la ventilación espontánea.

La aplicación de las maniobras de HVR se realizó de la siguiente manera:

- Tras la preoxigenación y antes de la inducción anestésica (momento inicial o t1) se registró el EtCO₂ inicial del paciente colocando la mascarilla facial sobre la nariz y la boca, asegurando un buen sellado e incentivando al paciente a realizar respiraciones voluntarias durante un minuto. Se controló la calidad de las respiraciones con el capnograma, ajustando el volumen de las mismas al volumen corriente ajustado al peso del paciente (6-8 mL/kg). Se tomaron como válidos los valores de EtCO₂ en que no se objetivó una discordancia de más de 4 puntos entre las medidas repetidas de EtCO₂ y con al menos 3 ondas monomorfas consecutivas en el capnograma.
- Tras la inducción anestésica se realizó la hiperventilación con una mascarilla facial conectada a un sistema de reanimación manual con flujo de O₂ de 10 L/min y una línea de muestreo de CO₂ de un monitor Datex-Engstrom AS/3™. Se hiperventiló de forma sistematizada y constante durante 60 s a expensas de un aumento de la frecuencia respiratoria a 40-50 pulsos/min con volúmenes pequeños, y se midió nuevamente el EtCO₂ (post-HVR o t2).

Variables recogidas

Se recogieron variables demográficas, clínicas y de tratamiento de los pacientes (edad, género, diagnóstico según el DSM-IV-TR²¹, tratamiento farmacológico y parámetros de aplicación de la TEC).

Para la evaluación del objetivo principal, en cada sesión de tratamiento realizada con HVR se recogieron las siguientes variables de interés en 2 momentos distintos del procedimiento (inicial o t1 y post-HVR o t2): variables hemodinámicas (presión arterial sistólica, diastólica y media, frecuencia cardíaca) y ventilatorias (SpO₂ y EtCO₂). Los valores de EtCO₂ se monitorizaron por capnografía con una línea de CO₂ conectada a la mascarilla facial y el monitor Datex-Engstrom AS/3™.

En todas las sesiones se recogieron las siguientes variables para evaluar la calidad de las convulsiones: duración de la convulsión motora, duración de la convulsión electroencefalográfica (EEG) e índices de calidad determinados automáticamente por el dispositivo Thymatron® System IV. Se registraron medidas de coherencia interhemisférica (coherencia máxima sostenida, tiempo hasta alcanzar la coherencia máxima sostenida); medidas de amplitud (índice de energía media de la convulsión, máxima potencia sostenida, tiempo hasta alcanzar la potencia máxima sostenida, amplitud del segmento ictal inicial, medio y postictal); y el índice de supresión postictal.

Tabla 1 Características clínicas y demográficas de la muestra (N = 35)

Características demográficas	
Edad (años)	67,8 ± 14,05
Género femenino	68,6 (24/35)
Características clínicas	
<i>Diagnóstico</i>	
Trastorno depresivo mayor	57,2 (20/35)
Trastorno bipolar	22,9 (8/35)
Trastorno esquizoafectivo	11,4 (4/35)
Esquizofrenia	8,6 (3/35)
<i>Tratamiento farmacológico</i>	
Número de psicofármacos	4,60 ± 1,06
Antidepresivos	85,7 (30/35)
Antipsicóticos	77,1 (27/35)
Estabilizadores del humor	31,4 (11/35)
Benzodiacepinas	82,9 (29/35)
Características del tratamiento con TEC	
Carga (mC)	294,28 ± 224,16
Amplitud de pulso de 0,5 ms	58,8 (20/35)
Amplitud de pulso de 1 ms	41,2 (15/35)

DE: desviación estándar; TEC: terapia electroconvulsiva.
Los datos se muestran como media ± DE, excepto para variables categóricas, que se expresan como % (n/N).

Análisis estadístico

Se utilizó la prueba de T de Student para datos apareados o la suma de rangos de Wilcoxon, cuando fue preciso por falta de normalidad de las variables, para evaluar los cambios en los parámetros ventilatorios previos y posteriores a la aplicación de la HVr (objetivo principal), y para explorar los cambios en la calidad de las convulsiones comparando las sesiones realizadas con hiperventilación según la práctica habitual con las sucesivas realizadas con HVr. Se estudiaron las relaciones existentes entre las diferentes variables ventilatorias de interés y la crisis obtenida mediante correlaciones (Rho de Spearman).

El nivel de significación estadística se estableció en $p < 0,05$ (bilateral). Se aplicó la corrección de Bonferroni para comparaciones múltiples en el análisis del objetivo principal.

Los análisis se realizaron con el programa SPSS® v. 18.0 para Windows (SPSS, Chicago, EE. UU.). Se utilizó el programa GPower 3.1.9.2 (Franz Faul, Uni Kiel, Alemania) para calcular la potencia de la muestra en el análisis del objetivo principal realizado con la prueba T de Student para datos apareados, obteniendo como resultado que la evaluación de 65 sesiones de TEC tiene una potencia estadística del 99% para detectar la diferencia de medias (6,52) y las desviaciones estándar observadas en el estudio.

Resultados

Las características clínicas, demográficas y de tratamiento de la muestra se indican en la [tabla 1](#).

En la [tabla 2](#) se muestran las diferencias de los parámetros ventilatorios y hemodinámicos, antes (t1) y después (t2) de realizar las maniobras de HVr en las 65 sesiones de TEC analizadas para el objetivo principal. Se observó una disminución del CO₂ y un aumento de la SpO₂ y la PAD estadísticamente significativos tras la HVr. La disminución media de CO₂ alcanzada fue de 6,52 ± 4,75 mmHg (IC 95% -7,7 a -5,3).

Los valores más bajos de EtCO₂ tras la HVr correlacionaron con una mayor duración de las convulsiones motoras ($r = -0,282$; $p = 0,024$) y EEG ($r = -0,276$; $p = 0,032$).

Se observó que mantener valores de SpO₂ elevados correlacionó con valores mayores del índice de supresión postictal ($r = -0,357$; $p = 0,019$), el índice de energía media de la convulsión ($r = -0,342$; $p = 0,012$) y una mayor amplitud del segmento ictal medio ($r = -0,364$; $p = 0,007$).

En la [tabla 3](#) se muestran las características del registro EEG de las sesiones de HVr comparadas con las de los registros de las sesiones de los mismos pacientes, realizadas según la práctica clínica habitual. Se encontró un alargamiento medio de la convulsión motora de 3,86 ± 14,62 s y EEG de 4,73 ± 13,95 s en las sesiones realizadas con maniobras de HVr, sin encontrarse diferencias estadísticamente

Tabla 2 Comparación de los parámetros ventilatorios y hemodinámicos en los momentos pre y postaplicación de hiperventilación reglada (n = 65)

	Inicial (t1)	Post-HVr (t2)	p
EtCO ₂ (mmHg)	38,28 ± 5,39	31,75 ± 4,37	< 0,001^{a,b}
SpO ₂ (%)	98,38 ± 1,598	99,29 ± 0,53	< 0,001^{a,b}
FC (lpm)	85,30 ± 13,66	87,38 ± 14,73	0,509 ^a
PAS (mmHg)	145,13 ± 18,70	144,60 ± 28,22	0,893 ^c
PAD (mmHg)	83,55 ± 10,23	89,24 ± 16,70	0,020^{c,d}
PAM (mmHg)	104,03 ± 11,21	107,69 ± 18,84	0,193 ^c

EtCO₂: dióxido de carbono espiratorio final; FC: frecuencia cardíaca; HVr: hiperventilación reglada; PAD: presión arterial diastólica; PAM: presión arterial media; PAS: presión arterial sistólica; SpO₂: saturación de oxígeno; t1: tiempo 1 (pre-HVr); t2: tiempo 2 (post-HVr).

Los datos se muestran con media ± desviación estándar.

En negrita, los datos estadísticamente significativos.

^a Wilcoxon.

^b Estadísticamente significativo tras la aplicación de la corrección de Bonferroni.

^c T de Student para datos apareados.

^d No supera la corrección de Bonferroni.

Tabla 3 Comparación de los parámetros de la convulsión entre sesiones realizadas siguiendo el procedimiento habitual y sesiones de los mismos pacientes realizadas con maniobras de hiperventilación reglada

	HV habitual (n = 65)	HVr (n = 65)	p
Duración motora (s)	24,78 ± 10,796	28,64 ± 13,91	0,014 ^a
Duración EEG (s)	41,10 ± 14,19	45,82 ± 15,66	0,003 ^a
COH (%)	86,32 ± 14,59	89,77 ± 10,35	0,828 ^a
TTC (s)	19,85 ± 8,88	21,04 ± 10,84	0,897 ^a
ASEI (μV2)	10.716,61 ± 18.783,55	7.871,56 ± 7.522,39	0,252 ^a
MSP (μV2)	19.441,98 ± 31.287,51	16.921,67 ± 18.839,25	0,373 ^a
TTP (s)	17,24 ± 7,66	16,25 ± 6,69	0,327 ^b
Early ictal amplitude (μV)	110,85 ± 79,87	115,13 ± 75,87	0,436 ^a
Midictal amplitude (μV)	161,13 ± 113,96	150,30 ± 77,20	0,229 ^a
Postictal amplitude (μV)	35,82 ± 44,90	38,80 ± 86,72	0,722 ^a
PSI (%)	68,01 ± 21,30	66,75 ± 22,19	0,982 ^a

ASEI: índice de energía media de la convulsión; COH: máxima coherencia sostenida; EEG: electroencefalograma; *Early ictal amplitude*: amplitud del segmento ictal inicial; HV: hiperventilación; *Midictal amplitude*: amplitud del segmento ictal medio; MSP: máxima potencia sostenida; *Postictal amplitude*: amplitud del segmento postictal; PSI: índice de supresión postictal; TTC: tiempo hasta alcanzar la máxima coherencia; TTP: tiempo hasta alcanzar la potencia máxima.

Los datos se muestran con media ± desviación estándar.

En negrita, los datos estadísticamente significativos.

^a Wilcoxon.

^b T de Student para datos apareados.

significativas en los demás parámetros ictales de calidad. Así mismo, valores más bajos de EtCO₂ alcanzados tras la HVr correlacionaron con mayores diferencias en el tiempo de convulsión tanto motora ($r = -0,368$; $p = 0,003$) como EEG ($r = -0,342$; $p = 0,006$) respecto a las sesiones con hiperventilación según la práctica habitual.

Discusión

Las maniobras de HVr con mascarilla facial realizadas en el presente estudio fueron efectivas en la reducción del EtCO₂ previo a la aplicación de la TEC, verificando la hipótesis en la que se encuadraba el objetivo principal. La HVr disminuyó de media 6,52 mmHg el EtCO₂ respecto a los valores basales y aumentó la SpO₂ de forma significativa. Estos cambios en los parámetros ventilatorios alargaron la duración de la convulsión sin modificar el resto de los índices de calidad del trazado EEG.

La repercusión significativa de las maniobras de HVr, disminuyendo el CO₂, se acompañó de un aumento de la PAD que se podría explicar por el efecto de la hipocapnia sobre las resistencias vasculares. De todos modos, este incremento de la PAD no conllevó otros cambios hemodinámicos y se resolvió en todas las sesiones en menos de 5 min.

La hipocapnia producida por la HVr se asoció significativamente a una duración más larga de la crisis, sin correlacionar con el resto de las medidas de calidad de la convulsión. Sin embargo, la saturación de O₂ se correlacionó con algunos parámetros relacionados con la calidad de la convulsión sin asociarse con la duración de la crisis. En un estudio reciente, la calidad de la convulsión se asoció significativamente con la ratio O₂/CO₂ medida de forma transcutánea, sin detectarse esta asociación al tomarse los niveles de O₂ y CO₂ como variables independientes. Esto evidenciaría que el O₂ y el CO₂ podrían tener una influencia sinérgica en la calidad de la convulsión. En este estudio se realizó la asistencia ventilatoria con mascarilla facial según la práctica habitual

estándar, que no se detalla de forma pormenorizada, y los valores medios de CO₂ fueron de 41 mmHg. La calidad de la convulsión fue evaluada mediante un índice que integraba diferentes parámetros ictales⁹.

En el presente estudio, la duración de la crisis motora y de la EEG en las sesiones con HVr fueron superiores a las conseguidas en el mismo paciente en las sesiones según la práctica habitual. Estos resultados son congruentes con los de estudios previos sobre la repercusión de la hipocapnia y la hiperoxia producidas por la hiperventilación en la convulsión, en forma de mayor duración^{8,10-13}. En cambio, no se encontraron diferencias significativas en la comparación de las demás características EEG de calidad ictal. Esto último podría deberse a que los valores de EtCO₂ alcanzados no fueron suficientemente bajos como para influir en otras características de la convulsión. En estudios previos, en los que se observaban valores más elevados en los índices de energía media de la convulsión y potencia máxima sostenida cuando se realizaba hiperventilación, el valor del EtCO₂ disminuía hasta cifras como mínimo iguales o menores a 30 mmHg, usando una mascarilla laríngea⁸. Sin embargo, en otro estudio en que se disminuía el EtCO₂ a un valor modal de 32 mmHg, el cual es similar al alcanzado en el presente trabajo ($31,75 \pm 4,37$ mmHg), no se observaron diferencias en los índices de intensidad de la convulsión y de supresión postictal evaluados manualmente respecto al grupo sin hiperventilación. Aun así, la hiperventilación se asoció a cambios clínicos alargando la duración de la convulsión y disminuyendo el tiempo de reorientación en las sesiones de TEC. En dicho estudio, el método de hiperventilación consistía en la aplicación activa de 20 insuflaciones a máxima capacidad y frecuencia de una respiración por segundo antes del estímulo eléctrico, comparado con un máximo de 3 ventilaciones con presión positiva en el grupo sin hiperventilación¹³.

Una posible forma de aumentar la hipocapnia con la utilización de máscara facial sería prolongar el tiempo de

hiperventilación a 2-3 min antes de la aplicación del estímulo eléctrico^{9,10,22-24}. En el presente estudio, la duración de la hiperventilación tras la inducción anestésica se aplicó durante un minuto, debido a que esto permitía no alargar excesivamente el procedimiento. Un mayor incremento de tiempo entre la inducción anestésica y la aplicación del estímulo podría afectar a la profundidad anestésica²⁵ e incluso requerir un aumento de la dosis del anestésico, con una eventual repercusión en el umbral convulsivo²⁶. En estudios previos acerca de la hiperventilación voluntaria realizada en las consultas de epilepsia durante los EEG para la provocación de crisis, en el 85,5% de los pacientes estas se producían en los primeros 90 s de hiperventilación²⁷.

En este estudio, la HVR se produjo a expensas de aumentar la frecuencia respiratoria con volúmenes pequeños para minimizar la insuflación del estómago y posibles efectos adversos asociados, como náuseas, regurgitaciones y broncoaspiraciones posteriores.

Entre las limitaciones del estudio, cabe destacar que el diseño fue observacional y no aleatorizado. La ausencia de determinación de los valores de EtCO₂ en las sesiones con hiperventilación según la práctica clínica habitual impidió objetivar el grado de hiperventilación alcanzado y su repercusión en los registros EEG. Por lo tanto, la variabilidad de la hiperventilación en estas sesiones, realizadas según el procedimiento habitual a criterio del anestesiólogo, podría estar minimizando o maximizando las diferencias encontradas respecto a las sesiones de HVR. La determinación de los valores EtCO₂ no es una práctica clínica generalizada en nuestro medio.

La HVR se realizó con mascarilla facial sin utilizar otros métodos de manejo de la vía aérea como la mascarilla laríngea o la intubación orotraqueal, que pueden precisar la utilización de dosis más elevadas de fármacos anestésicos²². La utilización de mascarilla facial presenta dificultades a la hora de coaptar la mascarilla correctamente en algunos pacientes por motivos anatómicos de la fisonomía facial, como la presencia de barba abundante, ausencia de dentadura al retirar las prótesis dentales, pérdida de masa muscular secundaria a grandes pérdidas de peso, etc. El impacto de este hecho se minimiza, en general, con un adecuado entrenamiento en la aplicación de la técnica y, en particular para el presente estudio, con la exclusión de las sesiones que no presentaron valores de EtCO₂ basales estables. La asistencia ventilatoria manual con mascarilla facial es la más utilizada en el procedimiento habitual de la mayoría de los centros. La intubación orotraqueal o la mascarilla laríngea no se utilizan de rutina ni están recomendadas de forma unívoca, por el momento, en las guías de práctica clínica de la TEC.

El EtCO₂ como medida de monitorización de la ventilación puede ser susceptible de artefactos si se usa la mascarilla facial para el manejo de la vía aérea. Se monitorizó el EtCO₂ por capnografía, dado que es un método incruento que se ha utilizado en la monitorización del CO₂ en estudios previos en el ámbito de la TEC^{23,28,29}, en lugar de utilizar otros métodos de medida del CO₂ más exactos pero más invasivos y sin disponibilidad de lectura inmediata, como la gasometría arterial.

Por último, cabe resaltar la limitación que supone el utilizar los índices de calidad de la convulsión calculados automáticamente por el propio dispositivo (Thymatron®

System IV) a partir de los datos del registro EEG. Las situaciones que generan artefactos en el registro (movimientos del paciente, desconexión accidental de alguno de los cables o transmisión de la señal del electrocardiograma) pueden inducir valores erróneos o impedir calcular estos índices de calidad. Este hecho plantea la necesidad de alcanzar un consenso en la evaluación de los indicadores clínicos de calidad de los registros EEG, más allá de los generados por los propios aparatos.

En futuros estudios sería interesante valorar los efectos de la hiperventilación en la respuesta terapéutica y los efectos adversos del tratamiento con TEC, así como la seguridad y tolerabilidad del uso de la hiperventilación. En algunos estudios previos el efecto de la hiperventilación sobre la duración de la convulsión únicamente era significativo en la primera sesión de TEC²³, por lo que también se debería profundizar en el estudio de la extensión de los efectos producidos por la hiperventilación a lo largo del curso de tratamiento, teniendo en cuenta la carga eléctrica administrada.

En conclusión, las maniobras de HVR propuestas en este estudio influyen en los parámetros ventilatorios con una repercusión clínica relevante al alargar la duración de las crisis obtenidas sin empeorar la calidad del trazado EEG. Por otra parte, el estudio plantea la importancia de utilizar, en la práctica clínica habitual, protocolos de hiperventilación manual con mascarilla facial sistematizados, de fácil aplicación y sin costes añadidos, replicables y generalizables. La utilización habitual de métodos de monitorización del CO₂ integrados en estos protocolos, además de aumentar la seguridad del paciente en caso de eventos adversos respiratorios, permite objetivar los cambios obtenidos con las maniobras de hiperventilación y ayudar a optimizar la ventilación durante las sesiones de TEC. Se requieren más estudios que profundicen en las características de aplicación óptima de la hiperventilación y en el estudio de sus efectos clínicos, lo que podría mejorar la eficacia y la eficiencia de la TEC.

Declaración de transparencia

El autor principal afirma que este manuscrito es un relato honesto, preciso y transparente del estudio que se presenta, que no se ha omitido ningún aspecto importante del estudio, y que las diferencias con el estudio que se planeó inicialmente se han explicado (y si son relevantes, registrado).

Responsabilidades éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que han seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Sociedad Española de Psiquiatría. Consenso español sobre la terapia electroconvulsiva. Madrid: Emisa; 1999.
2. American Psychiatric Association, Committee on Electroconvulsive therapy. The practice of electroconvulsive therapy: Recommendations for treatment, training, and privileging. 2nd ed. Washington, D. C.: American Psychiatric Association; 2001.
3. Royal College of Psychiatrists. En: Waite J, Easton A, editores. The ECT Handbook. Council Report CR176. 3rd ed. London: RCPsych Publications; 2013.
4. Kellner CH, Bryson EO. Electroconvulsive therapy anesthesia technique: Minimalist versus maximally managed. *J ECT*. 2013;29:153–5.
5. Pla director de salut mental i addiccions. Guia de bona pràctica clínica sobre la teràpia electroconvulsiva. Barcelona: Direcció General de Planificació i Recerca en Salut, Generalitat de Catalunya; 2014.
6. Loo CK, Kaill A, Paton P, Simpson B. The difficult-to-treat electroconvulsive therapy patient - Strategies for augmenting outcomes. *J Affect Disord*. 2010;124:219–27.
7. Loo C, Simpson B, MacPherson R. Augmentation strategies in electroconvulsive therapy. *J ECT*. 2010;26:202–7.
8. Haeck M, Gillmann B, Janouschek H, Grözing M. Electroconvulsive therapy can benefit from controlled hyperventilation using a laryngeal mask. *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci*. 2011;261 Suppl 2:S172–6.
9. Aksay SS, Bumb JM, Janke C, Hoyer C, Kranaster L, Sartorius A. New evidence for seizure quality improvement by hyperoxia and mild hypocapnia. *J ECT*. 2014;30:287–91.
10. Nishikawa K, Yamakage M. Reconsideration of augmentation strategies in electroconvulsive therapy: Effects of the concurrent use of a reduced dose of propofol with divided supplemental remifentanyl and moderate hyperventilation on electroconvulsive therapy-induced seizure production and adverse events. *Open J Anesthesiol*. 2015;5:219–26.
11. Bergsholm P, Gran L, Bleie H. Seizure duration in unilateral electroconvulsive therapy. The effect of hypocapnia induced by hyperventilation and the effect of ventilation with oxygen. *Acta Psychiatr Scand*. 1984;69:121–8.
12. Chater SN, Simpson KH. Effect of passive hyperventilation on seizure duration in patients undergoing electroconvulsive therapy. *Br J Anaesth*. 1988;60:70–3.
13. Mayur P, Bray A, Fernandes J, Bythe K, Gilbett D. Impact of hyperventilation on stimulus efficiency during the early phase of an electroconvulsive therapy course: A randomized double-blind study. *J ECT*. 2010;26:91–4.
14. Barton CW, Wang ES. Correlation of end-tidal CO₂ measurements to arterial PaCO₂ in nonintubated patients. *Ann Emerg Med*. 1994;23:560–3.
15. McQuillen KK, Steele DW. Capnography during sedation/analgesia in the pediatric emergency department. *Pediatr Emerg Care*. 2000;16:401–4.
16. Miner JR, Heegaard W, Plummer D. End-tidal carbon dioxide monitoring during procedural sedation. *Acad Emerg Med*. 2002;9:275–80.
17. Anderson JL, Junkins E, Pribble C, Guenther E. Capnography and depth of sedation during propofol sedation in children. *Ann Emerg Med*. 2007;49:9–13.
18. Deitch K, Miner J, Chudnofsky CR, Dominici P, Latta D. Does end tidal CO₂ monitoring during emergency department procedural sedation and analgesia with propofol decrease the incidence of hypoxic events? A randomized, controlled trial. *Ann Emerg Med*. 2010;55:258–64.
19. Godwin SA, Burton JH, Gerardo CJ, Hatten BW, Mace SE, Silvers SM, et al. Clinical policy: Procedural sedation and analgesia in the emergency department. *Ann Emerg Med*. 2014;63:247–58.e18.
20. Saito S, Kadoi Y, Nishihara F, Aso C, Goto F. End-tidal carbon dioxide monitoring stabilized hemodynamic changes during ECT. *J ECT*. 2003;19:26–30.
21. American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders, fourth edition, text revision (DSM-IV-TR). Washington, D. C.: American Psychiatric Association; 2000.
22. Pande AC, Shea J, Shettar S, Grunhaus LJ, Haskett RF. Effect of hyperventilation on seizure length during electroconvulsive therapy. *Biol Psychiatry*. 1990;27:799–801.
23. Sawayama E, Takahashi M, Inoue A, Nakajima K, Kano A, Sawayama T, et al. Moderate hyperventilation prolongs electroencephalogram seizure duration of the first electroconvulsive therapy. *J ECT*. 2008;24:195–8.
24. Sartorius A, Aksay SS, Bumb JM, Janke C, Hoyer C, Kranaster L. Type of anesthetic agent, timing, and hyperventilation as covariates in electroconvulsive therapy. *J ECT*. 2014;30:e39–40.
25. Scott AI. Hyperventilation and seizure quality. *J ECT*. 2014;30:e39.
26. Gálvez V, Hadzi-Pavlovic D, Smith D, Loo CK. Predictors of seizure threshold in right unilateral ultrabrief electroconvulsive therapy: Role of concomitant medications and anaesthesia used. *Brain Stimul*. 2015;8:486–92.
27. Watemberg N, Farkash M, Har-Gil M, Sezer T, Goldberg-Stern H, Alehan F. Hyperventilation during routine electroencephalography: Are three minutes really necessary? *Pediatr Neurol*. 2015;52:410–3.
28. Sakurazawa S, Saito S, Yamada M, Nishihara F, Goto F. Carbon dioxide exhalation temporarily increases during electroconvulsive therapy. *J Anesth*. 2006;20:68–70.
29. Choukalas CG, Walter J, Glick D, O'Connor MF, Tung A, Dinwiddie SH, et al. Mask ventilation, hypocapnia, and seizure duration in electroconvulsive therapy. *J Clin Anesth*. 2010;22:415–9.