



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE MEDICINA

INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL
COORDINACIÓN DE UNIDADES MÉDICAS DE ALTA ESPECIALIDAD
UMAE HOSPITAL DE PEDIATRÍA “DR. SILVESTRE FRENK FREUND”
CENTRO MÉDICO NACIONAL SIGLO XXI

**“CARACTERÍSTICAS DE LA PROFUNDIDAD ANESTÉSICA MEDIDA
MEDIANTE ELECTROENCEFALOGRAMA PROCESADO EN PACIENTES
SOMETIDOS A CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA ELECTIVA EN EL HOSPITAL DE
PEDIATRÍA “DR. SILVESTRE FRENK FREUND”**

TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO DE ESPECIALIDAD EN
ANESTESIOLOGÍA PEDIÁTRICA

PRESENTA:
Martínez Márquez Elisa
Residente De Anestesiología Pediátrica

ASESOR CLÍNICO
Dra. Barragán Jiménez Corina
UMAE Hospital De Pediatría Centro Médico Nacional Siglo XXI

ASESOR METODOLÓGICO Y CLÍNICO
MCIC. Marisa Josefina Guerrero Pesina
UMAE Hospital De Pediatría Centro Médico Nacional Siglo XXI

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD.MX. ABRIL 2024



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

COMITÉ EVALUADOR DE EXAMEN PROFESIONAL



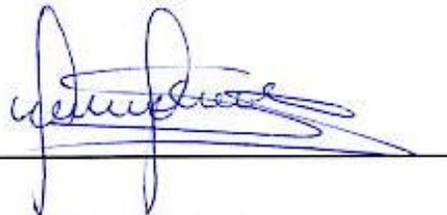
DRA. MARLEN GARCÍA LÓPEZ

PRESIDENTE

MÉDICO ANESTESIÓLOGO PEDIATRA

ADSCRITO AL SERVICIO DE ANESTESIOLOGÍA

UMAE HOSPITAL DE PEDIATRÍA CMN SIGLO XXI



DRA. AMANDA IDARIC OLIVARES SOSA

SECRETARIO

MÉDICO ANESTESIÓLOGO PEDIATRA

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN EN SALUD

UMAE HOSPITAL DE PEDIATRÍA CMN SIGLO XXI



DRA. ELSY YOLANDA ORTEGA AHUATZI

VOCAL

MÉDICO ANESTESIÓLOGO PEDIATRA

ADSCRITO AL SERVICIO DE ANESTESIOLOGÍA

UMAE HOSPITAL DE PEDIATRÍA CMN SIGLO XXI



INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL
DIRECCIÓN DE PRESTACIONES MÉDICAS



Dictamen de Aprobado

Comité Local de Investigación en Salud **3603**.
HOSPITAL DE PEDIATRÍA, CENTRO MEDICO NACIONAL SIGLO XXI

Registro COFEPRIS **17 CI 09 015 042**
Registro CONBIOÉTICA **CONBIOÉTICA 09 CEI 032 2017121**

FECHA **Jueves, 21 de septiembre de 2023**

Maestro (a) Marisa Josefina Guerrero Pesina

PRESENTE

Tengo el agrado de notificarle, que el protocolo de investigación con título **CARACTERÍSTICAS DE LA PROFUNDIDAD ANESTÉSICA MEDIDA MEDIANTE ELECTROENCEFALOGRAMA PROCESADO EN PACIENTES SOMETIDOS A CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA ELECTIVA EN EL HOSPITAL DE PEDIATRÍA "DR. SILVESTRE FRENK FREUND** que sometió a consideración para evaluación de este Comité, de acuerdo con las recomendaciones de sus integrantes y de los revisores, cumple con la calidad metodológica y los requerimientos de ética y de investigación, por lo que el dictamen es **A P R O B A D O**:

Número de Registro Institucional
R-2023-3603-056

De acuerdo a la normativa vigente, deberá presentar en junio de cada año un informe de seguimiento técnico acerca del desarrollo del protocolo a su cargo. Este dictamen tiene vigencia de un año, por lo que en caso de ser necesario, requerirá solicitar la reaprobación del Comité de Ética en Investigación, al término de la vigencia del mismo.

ATENTAMENTE


Doctor (a) Rocio Cárdenas Navarrete
Presidente del Comité Local de Investigación en Salud No. 3603

Imprimir

IMSS
SEGURIDAD Y SOLIDARIDAD SOCIAL

HOJA DE DATOS

DATOS DEL ALUMNO	
Apellido paterno	Martínez
Apellido materno	Márquez
Nombre	Elisa
Teléfono	7712666963
Universidad	Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad o escuela	Medicina
Carrera	Anestesiología Pediátrica
Número de cuenta	51922954-5
DATOS DEL ASESOR	
Apellido paterno	Guerrero
Apellido materno	Pesina
Nombre(s)	Marisa Josefina
DATOS DE LA TESIS	
Título	CARACTERÍSTICAS DE LA PROFUNDIDAD ANESTÉSICA MEDIDA MEDIANTE ELECTROENCEFALOGRAMA PROCESADO EN PACIENTES SOMETIDOS A CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA ELECTIVA EN EL HOSPITAL DE PEDIATRÍA "DR. SILVESTRE FRENK FREUND
Número de páginas	48
Año	2024
Número de registro	R-2023-3603-056

LISTA DE ABREVIATURAS.

FSC	Flujo sanguíneo cerebral
CMRO2	Tasa metabólica de oxígeno cerebral
RVC	Autorregulación de la resistencia vascular cerebral
PPC	Presión de perfusión cerebral
TAM	Presión arterial media
PIC	Presión intracraneana
EEG	Electroencefalograma
SAT O2	Saturación de Oxígeno
ETCO2	Dióxido de Carbono
GAS	General Anesthesia Compared to Spinal Anesthesia
PANDA	Pediatric Anesthesia Neuro Development Assessment
EMG	Electromiografía
ES	Entropía de estado
ER	Entropía de respuesta
SEF95	Frecuencia de borde espectral
Hz	Hertz
IQ	Función cognitiva global
PSi	Índice de estado del paciente
DSA	Conjunto de Densidad Espectral
Cp.	Concentración plasmática (de fármacos endovenosos)
EEGp	Electroencefalograma procesado

INDICE

RESUMEN	7
MARCO TEÓRICO	8
JUSTIFICACIÓN	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
HIPOTESIS	18
OBJETIVOS	18
MATERIAL Y MÉTODOS	19
DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES	19
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTUDIO	23
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	24
CONSIDERACIONES ÉTICAS	24
RECURSOS PARA EL ESTUDIO	25
RESULTADOS	26
DISCUSIÓN	32
CONCLUSIONES.	37
LIMITANTES DEL ESTUDIO:	37
BIBLIOGRAFIA	39
ANEXOS	42

RESUMEN

MARCO TEÓRICO: Una anestesia general representa un estado de inconsciencia reversible secundario a la administración de fármacos con la finalidad de someter al paciente a un procedimiento sin dolor ni recuerdo del evento. Si la dosis administrada resulta incorrecta puede provocar desde despertar intraoperatorio, que el paciente este consiente durante el procedimiento, sienta dolor, entre otras situaciones, hasta un estado de depresión del sistema nervioso central con posterior retraso en el despertar hasta daño nervioso permanente sobre todo en el paciente pediátrico. Es por ello que empleo de un monitoreo de la función neurológica es de suma importancia, aunque sea una técnica en pleno desarrollo en pacientes pediátricos, por lo que no se conoce el comportamiento de las ondas cerebrales en pacientes pediátricos bajo anestesia general. La cirugía laparoscópica conforma una parte fundamental de la cirugía pediátrica desde su implementación, por lo que un manejo anestésico adecuado es imperativo para su empleo y desarrollo. **OBJETIVO GENERAL:** Describir las características de la profundidad anestésica medida mediante electroencefalograma procesado en pacientes sometidos a cirugía laparoscópica electiva en el Hospital de Pediatría “Dr. Silvestre Frenk Freund”. **MATERIAL Y MÉTODOS:** Serie de casos (descriptivo, observacional, prospectivo unicentrico). **ANÁLISIS ESTADÍSTICO:** El análisis descriptivo se llevó a cabo mediante medidas de tendencia central y dispersión, de acuerdo con la escala de medición de las variables. Para las cualitativas, frecuencias simples y porcentaje mientras que para las cuantitativas media o mediana, y desviación estándar o intervalo intercuartílico, de acuerdo con el tipo de distribución, normal o libre, además de un análisis de varianza de medidas repetidas con el paquete estadístico SPSS versión 25.0. Los resultados se presentaron en tablas y gráficos. **RESULTADOS.** Se incluyeron 20 pacientes, se categorización por grupos etarios: de 2 a 5 años, 6 a 12 años y 13 a 17 años, los cuales se encontraron en las categorías ASA II y ASA III. Las variables hemodinámicas de TAM y FC se reportaron conforme a lo esperado y el resto de las variables hemodinámicas se mantuvieron constantes. Los datos obtenidos de P_{Si} en el T₀ fueron constantes en los 3 grupos etarios, y SEFL/R con media de 21 a 23.5Hz. Para el Tiempo 1 los valores de las medias SEFL/R fueron de 14.7 a 16; en el Tiempo 2, la medición de P_{Si} se mantuvo de 33 a 41, con valores de SEFL/R 12.4 a 14.9 Hz; y el Tiempo 3 los valores reportados corresponderían a un estado de sedación más que a un estado de hipnosis; encontrando similitud a lo últimamente reportado en la literatura, donde se observa que los niños tienden a tener mayor potencia que los adultos en las oscilaciones de las bandas beta y gamma (13 a 40 Hz), lo cual se asocia con niveles más ligeros de anestesia y de una conciencia emergente, que podría malinterpretarse sugiriendo un paciente que no está adecuadamente anestesiado, lo que, a su vez, podría llevar a administrar niveles más altos de anestésicos de los realmente necesarios. **CONCLUSIÓN:** El comportamiento de la actividad cerebral de los pacientes pediátricos bajo Anestesia general representado en los valores de P_{Si} y SEFR/L, que tradujeron clínicamente un estado hipnótico óptimo, pero los valores de frecuencia de las ondas no corresponden con los valores de ondas theta y delta esperadas referido en la bibliografía modificada en base al paciente adulto, pero que fueron consistentes con otros estudios.

MARCO TEÓRICO

CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA

La cirugía laparoscópica es relativamente una reciente modalidad quirúrgica la cual se ha desarrollado a pasos agigantados en los últimos años. Bajo sinónimos como cirugía mínimamente invasiva o cirugía de acceso mínimo se enfatizan la característica de acceso a las cavidades del cuerpo, ya sea el abdomen o el tórax a través de mínimas incisiones.¹

Inició como medio de diagnóstico para la visualización de los órganos intraabdominales, y no fue hasta 1987 que Mouret extirpo exitosamente una vesícula biliar en un paciente adulto en Francia, que la llamada video laparoscopia sentó las bases para su crecimiento en todo el mundo, desarrollando nuevas técnicas para otros órganos, cavidades, y su aplicación a diferentes grupos etarios. En el ámbito de la cirugía pediátrica, en 1990 se realizó una Laparoscopia Diagnóstica en un caso de criptorquidia con biopsia hepática y apendicectomía. Sin embargo, el crecimiento de esta técnica en paciente pediátrico se vio obstaculizada por falta de equipos adecuados a los niños, pues solo se empleaban equipos voluminosos diseñados para adultos. Poco a poco se realizaron modificaciones a los aparatos y diseños, con lo cual perseveraron esta técnica y establecieron estándares de corrección para trastornos quirúrgicos complejos en los niños, haciendo el aprendizaje de la técnica fundamental para un cirujano pediátrico en formación.¹

De manera general, en una cirugía laparoscópica primero se genera un espacio dentro del abdomen con la instilación de Dióxido de Carbono, un gas fisiológicamente compatible, la óptica o cámara y los instrumentos se introducen a través de trocares de 5 o 10mm, para así, bajo visualización guía de video sin obstáculos, y se realice el procedimiento casi exactamente igual a una cirugía abierta convencional. Esta forma tiene ventajas reconocidas: un margen de seguridad por una vista ampliada, evitar cicatrices grandes en el cuerpo minimizando la formación de cicatrices queloides, reducen de manera sustancial el dolor, las morbilidades asociadas, la duración de la hospitalización y el íleo postoperatorio; promoviendo un regreso mas temprano de los pacientes y familiares a sus actividades diarias. Esta técnica también es aplicable a neonatos y niños pequeños.¹

Aunque la cirugía laparoscópica pediátrica ha evolucionado exponencialmente, existen varias limitaciones, algunas relacionado con el paciente, como el espacio restringido, aumento de la presión intraabdominal; así como las relacionadas con el equipo, pues los instrumentos de tamaño pediátrico no son accesibles para todos los centros quirúrgicos. ¹

En los últimos 30 años, múltiples estudios comparativos han sido publicados sobre las ventajas y desventajas respecto a la cirugía laparoscópica y la cirugía abierta en niños, con resultados múltiples resultados sin embargo el nivel de evidencia de esos estudios sigue siendo escaso. ²

La revisión literaria publicada en el 2021 por Kiblawi y Zoeller, revelo que hasta esa fecha sólo se publicaron 26 ensayos clínicos aleatorizados desde 1990 al 2019 sobre procedimientos abdominales en niños, de los cuales ninguno fue en recién nacidos, siendo los procedimientos mas comunes la Funduplicatura, piloromiectomía, apendicectomía y reparación de malformación anorrectal. Una de las razones que se pueden especular sobre esta evidencia con las implicaciones éticas de la asignación al azar en los pacientes pediátricos, además de ser difícil de convencer a los implicados en la cirugía su participación, tanto los cirujanos como los familiares y pacientes. ²

Estos procedimientos reconocidos como los mas frecuentes coinciden con los que se presentan en nuestra unidad como los mas realizados por el servicio de cirugía pediátrica y representan la gran mayoría de las cirugías realizadas en el Hospital De Pediatría "Dr. Silvestre Frenk Freund.

Las preocupaciones anestésicas para la cirugía laparoscópica, son relativas a la necesidad de insuflar dióxido de carbono para permitir la visualización del campo quirúrgico y así realizar el procedimiento. De manera general se piensa que las presiones y volúmenes de insuflación requeridos resultan menores en los pacientes pediátricos (por el tamaño del abdomen y la laxitud de la pared abdominal), el aumento asociado de la presión intraabdominal, sumado a la absorción de CO₂ y el posicionamiento quirúrgico, tiene un efecto neuroendocrino y mecánico capaz de afectar la función cardiopulmonar. Además, el abordaje laparoscópico requiere una posición correcta para facilitar y optimizar la movilidad quirúrgica. El conocimiento de estas situaciones y su impacto en el paciente permite al anestesiólogo brindar una anestesia más segura.³

DESARROLLO NEUROLÓGICO

El desarrollo neurológico se genera mediante la interacción entre el niño y su entorno; involucrando tanto la maduración fisiológica del sistema nervioso con el desarrollo de las funciones cerebrales y la formación de la personalidad. Se trata de un proceso complejo con inicio temprano previo al nacimiento y prolonga por varios años, con periodos críticos como lo son la vida intrauterina y el primer año de vida. Estas etapas del neurodesarrollo se pueden resumir en: proliferación neuronal, migración, organización y laminación del cerebro, y mielinización. Estas etapas se van superponiendo o incluso se presentan simultaneas acorde al medio en que se desarrolle el niño⁴.

Durante la primera mitad de la gestación ocurre la proliferación neuronal, proceso a través del cual se da origen a cien mil millones de neuronas, mismas que deben desplazarse durante la migración, desde la parte mas profunda del cerebro hasta la corteza. Este proceso resulta muy preciso e importante durante el segundo trimestre del embarazo, que puede afectarse por ciertas exposiciones in útero como lo son toxinas, fármacos y enfermedades como infecciones y desnutrición. Desde de la semana 25 de gestación se presenta un incremento de peso y volumen casi al triple de la masa encefálica el cual es secundario al desarrollo de conexiones sinápticas y arborización neuronal. Estas conexiones sinápticas pueden llegar a ser

moldeadas por la exposición a factores ambientales internos y externos. Por último, la mielinización, que inicia al nacimiento, se refiere al recubrimiento axonal de mielina, mejorando la velocidad de transmisión de impulsos nerviosos⁴.

Al nacimiento se calcula la presencia de unos mil millones de neuronas, durante el primer año de vida el cerebro dobla su tamaño y alcanza el 90% de su desarrollo a los 6 años de edad con un tallo cerebral y medula espinal completamente desarrollados, mientras que el sistema límbico y la corteza prefrontal sin haber completado su maduración. Todo esto se traduce en que el cerebro no completa su desarrollo hasta varios años después del nacimiento⁵.

NEUROFISIOLOGÍA

El encéfalo representa un 2% del peso corporal total, pero representa el 20% del consumo total de oxígeno, siendo dependiente del metabolismo oxidativo de la glucosa, este metabolismo tiene la función de mantener la sinapsis y la integridad celular neural⁶.

El flujo sanguíneo cerebral es de 15 a 25% del gasto cardiaco total, tres cuartas partes a la sustancia gris y el resto la sustancia blanca; cuenta con un sistema de autorregulación sobre las resistencias vasculares cerebrales junto con la presión de perfusión cerebral, representa la presión con la que se irriga el tejido cerebral; es el resultado de restar a la presión arterial sistémica media y la presión intracraneana, se representa con la fórmula $FSC=(PAM-PIC)-RVC$; y requiere un valor mínimo para mantener el funcionamiento cerebral^{6,7}.

Existen consideraciones entre los valores del flujo sanguíneo cerebral acorde a la edad, por ejemplo, en neonatos tiene una baja considerada 24cm/s, alcanzando un pico entre los 6 a 9 años de 97cm/s, para llegar a la edad de 10 años a los valores de adultos de 50cm/s. La tasa metabólica de O₂ cerebral varía, en el periodo neonatal es de 2.3ml/100gr/min, en lactantes 5.2ml/100gr/min, de los 3 a 11 años de 4.2ml/100gr/min; y de igual forma el metabolismo de glucosa varía con la edad, en neonatos 13-25mmol/100gr/min, con un aumento progresivo que alcanza su pico a los 4 años siendo de 49 a 65mmol/100gr/min, estabilizándose para llegar al valor normal para la edad adulta de 19 a 33mmol/100gr/min^{6,7}.

Estos valores responden a una resistencia vascular cerebral variable acorde a la edad en el paciente pediátrico respecto al adulto. Acerca del consumo metabólico de O₂, cerca del 40% responde al gasto energético basal y el resto al gasto funcional, el cual, a diferencia del basal, no es termosensible, pero sí modificable por fármacos, por ejemplo, algunos agentes anestésicos^{6,7}.

Durante las primeras semanas de gestación el desarrollo cerebral se describe bajo los conceptos de Neurogénesis, Gliogénesis y Sinaptogénesis, los cuales dependen de la migración, diferenciación y maduración celular además de la creación y maduración de sinapsis. Estos procesos involucran el periodo en el cual el cerebro es más vulnerable a los cambios producidos por agentes externos⁸.

MONITORIZACIÓN NEUROLÓGICA EN ANESTESIOLOGÍA PEDIÁTRICA.

Se define a la anestesia general como un estado transitorio y reversible de depresión del sistema nervioso central inducido por drogas específicas; se caracteriza por la pérdida de las funciones de conciencia, sensibilidad, motilidad y reflejos, produciendo por tanto analgesia, amnesia, hipnosis, inhibición de los reflejos sensoriales y autónomos, relajación del músculo estriado; esto se logra con fármacos depresores capaces de aumentar progresivamente la profundidad de la depresión central (*PROFUNDIDAD ANESTÉSICA*) hasta producir la parálisis del centro vasomotor y respiratorio del bulbo, pudiendo llegar hasta la muerte cuando no se ajustan las dosis a la condición del paciente. Desde 1847, Plomley, para definir la profundidad de la anestesia describió tres etapas: intoxicación, excitación (tanto consciente como inconsciente) y los niveles más profundos de la narcosis. John Snow, en el mismo año, hablaba de cinco grados de narcotismo para la anestesia con éter; y los trabajos de Arthur E. Guedel, en 1920 y 1937, sobre las señales y etapas de la anestesia con éter basándose en cambios de respiración, relajación muscular, tamaño de las pupilas, lagrimeo y reflejos palpebrales. En la actualidad, gracias a los nuevos fármacos anestésicos y al monitoreo electrónico avanzado es difícil que una anestesia bien llevada conduzca a la muerte, pero sí existen complicaciones a tomar en cuenta, sobre todo en el paciente pediátrico²⁶.

Los procedimientos anestésicos se consideran seguros para el paciente pediátrico acorde estándares aceptados internacionalmente, sin embargo, la posibilidad de que el procedimiento tenga un efecto de neurotoxicidad representa una necesidad de investigación de la fisiopatogenia, y sobre como monitorizar, regular y manejar con seguridad el procedimiento. El mecanismo mediante el cual se describe la presencia de apoptosis neuronal acelerada, así como remodelación en células dendríticas sigue sin esclarecerse, se discute una disminución de actividad sináptica y desregulación del receptor N-metil-D-aspartato (NMDA), que actúa en la activación de receptores y en la neurogénesis^{8,10}.

Entre la bibliografía mas remarcable sobre el tema, Wilder y colaboradores en su estudio de cohorte con pacientes menores de cuatro años con antecedente de cirugía neonatal, demostraron problemas de aprendizaje directamente relacionados a la cantidad de cirugías con múltiples exposiciones anestésicas relacionadas al riesgo de desórdenes en el aprendizaje. En comparación, pacientes con solo un antecedente de una sola exposición no mostraron evidencias de problemas^{9,12}.

La Administración de Alimentos y Drogas en Estados Unidos, en el 2016, presentó estudios en animales e investigaciones in vitro que revelaban alteraciones neuroanatomicas de instalación inmediata y funciones neuronales afectadas de manera permanente como consecuencia de la exposición a todos los anestésicos analizados¹¹.

En el 2015, Davidson y colaboradores realizaron un ensayo clínico aleatorizado doble ciego, llamado General Anesthesia Compared to Spinal Anesthesia (GAS) el cual involucro múltiples centros a nivel internacional; consistía en una comparación

del neurodesarrollo en pacientes hasta los 2 años de edad, sometidos a anestesia general con sevofluorano versus anestesia neuroaxial para cirugía de hernia inguinal, la conclusión alcanzada fue que no hay un aumento significativo en el riesgo de una alteración en el neurodesarrollo con una exposición menor a 1 hora al sevofluorano¹³.

El llamado proyecto PANDA, por sus siglas en inglés Pediatric Anesthesia Neuro Development Assessment, fue otro estudio tipo cohorte que evaluaba la función cognitiva y el comportamiento de 56 pacientes gemelos sanos, entre las 36 semanas post-gestacionales y menores a 36 meses de vida extrauterina, siendo un paciente expuesto a anestesia general para plastia inguinal, mientras que su hermano no era intervenido. Con un seguimiento desde los 6 a los 11 años de vida, se sometieron a los hermanos a pruebas neurofisiológicas, de comportamiento y cognitivas; dichas evaluaciones fueron transversales y no se encontraron diferencias significativas ambos grupos^{14,16}.

El estudio MASK (por sus siglas en inglés Mayo Anesthesia Safety in Kids), un estudio de cohorte del 2018 comprobó que una exposición antes de los 3 años de vida a múltiples procedimientos con anestesia general se asocia a resultados adversos en el neurodesarrollo. Se consideró a los pacientes nacidos entre 1994 al 2007, separándolos en pacientes no expuestos a anestesia, pacientes expuestos en una ocasión y los pacientes expuestos en múltiples ocasiones; la evaluación incluyó un análisis del coeficiente intelectual, del rendimiento académico, y pruebas neuropsicológicas (comportamiento y aprendizaje) entre los 8 a 12 años o de los 15 a los 20 años. En total fueron 997 pacientes: 411 no expuestos, 380 expuestos una única vez y 206 con múltiples exposiciones. El análisis del coeficiente intelectual no presentó diferencias significativas entre grupos, sin embargo, si hubo diferencias en la velocidad de procesamiento y el desarrollo de habilidades motoras finas, siendo el grupo de múltiples exposiciones el más afectado, mientras más procedimientos hubieran sido sometidos¹⁵.

Para elegir la técnica anestésica apropiado depende de factores de riesgo inherentes al paciente y al procedimiento. Se considera fundamental mantener un balance entre el Flujo sanguíneo cerebral y la demanda metabólica, así como los valores de presión arterial durante el procedimiento, idealmente evitando cambios súbitos de estos valores, pues resulta de gran importancia para el desenlace neurológico del paciente, por ello la importancia de un monitoreo de profundidad anestésica¹⁷.

De manera habitual, la profundidad anestésica se calcula según signos indirectos de respuesta a estímulos nocivos por parámetros cardiovasculares y de respuesta motora. Si la estimulación quirúrgica no provoca movimiento, o un aumento en la frecuencia cardíaca o en la presión arterial, se asume que la anestesia es suficiente. Estos parámetros sin embargo no resultan confiables, es por lo que resulta necesario tener un parámetro objetivo estudiado y aceptado como el análisis electroencefalograma¹⁸.

Actualmente utilizar el análisis de la fisiología cerebral del paciente a través de

ondas electroencefalográficas (EEG) que orientan sobre estado de conciencia del paciente, presentando información para identificar los estados de sedación-hipnosis, el efecto de anestésicos y su eficacia, evaluando el estado funcional con el registro de la actividad eléctrica de las neuronas que componen las células piramidales de la corteza cerebral, a través de la representación gráfica de la misma. Esto con el objetivo de preservar la función neurológica independientemente del procedimiento quirúrgico o invasivo que se realice^{15,19}.

La *neuro-monitorización* intraoperatoria representa en tiempo real la integridad funcional neuronal para prevenir daños potenciales, detección precoz de isquemia cerebral y cambios en la profundidad de la anestesia, esto mediante electrodos colocados en ubicaciones específicas en el cuero cabelludo. Es un monitoreo seguro incluso en lactantes extremadamente prematuros^{16,20}.

El registro EEGp se conforma no solo con la captación de ondas cerebrales, se debe analizar el tamaño de las ondas (amplitud) en microvoltios (μV), la cantidad de ondas por unidad de tiempo (frecuencia) en Hertz (Hz). El paciente despierto tiene ondas de baja amplitud y alta frecuencia (ondas pequeñas y rápidas), a medida que llega a anestesia general estas van cambiando a ondas de gran amplitud y baja frecuencia (ondas grandes y lentas). La nomenclatura de estas ondas se basa en parámetros de frecuencia: si es entre 1-4, se denomina ritmo delta: <5Hz, theta: 5-8Hz, alfa: 9-12Hz, beta: 13-25Hz y gamma 26-80Hz²¹.

En el registro EEG normal aparecen artefactos, alteraciones con múltiples causas (movimientos musculares, oculares, respiración, pulso, electrodos, resistencia de la piel, sudor, problemas técnicos) y no significa que haya patología²².

Características de la actividad rítmica cerebral²¹.

Ritmos	Alfa	Beta	Theta
Morfología	Sinusoidal	Sinusoidal	Irregular
Amplitud	Bajo* a Moderado	Bajo	Bajo a Moderado
Frecuencia	8 - 12 Hz	> 12 Hz	4 - 7.5 Hz
Abundancia	> 80% en vigilia	3 a 50%	< 30% en adultos
Dormido	Ausente	Ausente	Presente
Alerta	Presente	Presente	En < 15 años

*Bajo voltaje = < 50 μV , moderado= 50 μV a 100 μV , Alto = > 100 μV

De manera ideal, a través del análisis del EEG, se espera que el anestesiólogo pueda individualizar la administración de agentes anestésicos; sin embargo, es difícil que el anestesiólogo realice un análisis manual de la señal durante una cirugía, esto, debido a que el equipo completo del EEG es poco práctico, se han implementado varias opciones para su uso en un ambiente quirúrgico, estos monitores emplean diversas técnicas de análisis de señales para correlacionar el EEG con el estado hipnótico del paciente²³.

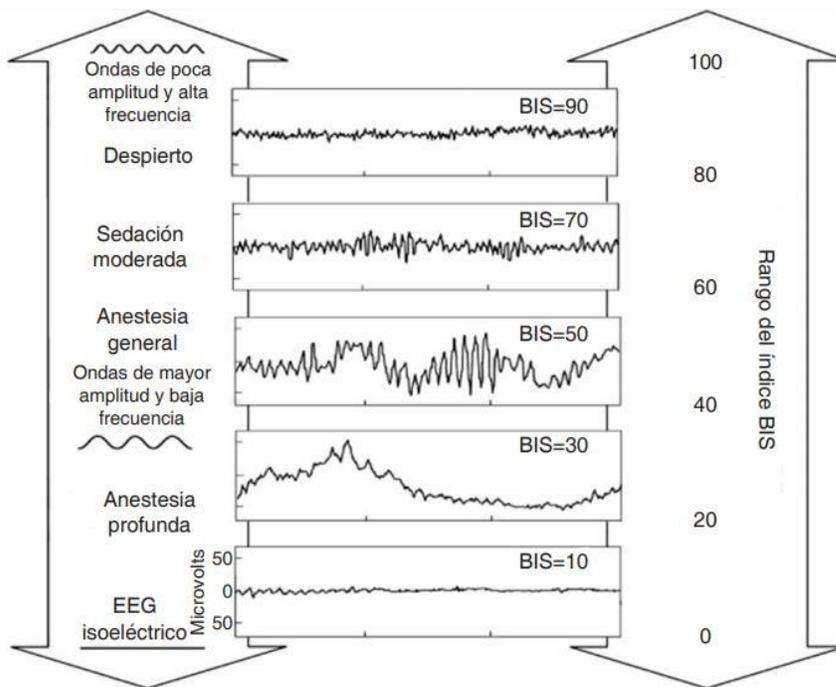


Figura 1.
Correlación de la profundidad anestésica (izquierda), las ondas del EEG (centro) con el rango del índice BIS (derecha).

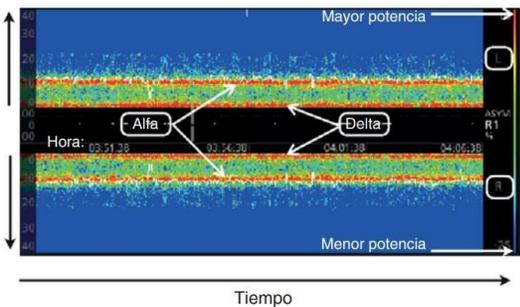
El primer monitor comercial que se diseñó fue el monitor BIS (Índice Biespectral, el cual a través de un sensor de diadema en la frente del paciente desplegab resultados desde el 0 al 100, conforme al estado de vigilia del paciente, considerando un rango recomendado de 40 a 60, además mide la electromiografía (EMG) de la frente para valorar si el tono muscular²³.

Otros monitores de anestesia son el monitor de entropía y el monitor Narcotrend, funcionan con un mecanismo similar, presentado una interpretación de la actividad cerebral de la corteza frontal a través de un algoritmo convirtiéndolo en un valor numérico²³.

El equipo Root® para monitorización de la función cerebral SedLine (Masimo ®) es un equipo que analiza la actividad eléctrica bilateral de la corteza frontal a través de 4 canales de entrada (L1, R1, L2 y R2), junto con algoritmo multivariado evalúa los datos de EEG del paciente, determinar el índice de estado del paciente (Psi) resultando en una medida de profundidad anestésica. Para el desarrollo de este algoritmo se emplearon extensos registros de EEG desarrollados por el laboratorio de investigación del cerebro (Brain research laboratory) de la escuela de medicina de la Universidad de Nueva York, correlacionando los estados de hipnosis con el valor de PSi de 0 a 100 en tiempo real al estado de sedación/ anestesia del paciente, donde 100 representa un paciente despierto, 25-50 el estado hipnótico para mantener una anestesia general en un paciente adulto, y <25 indicaría un estado de coma²².

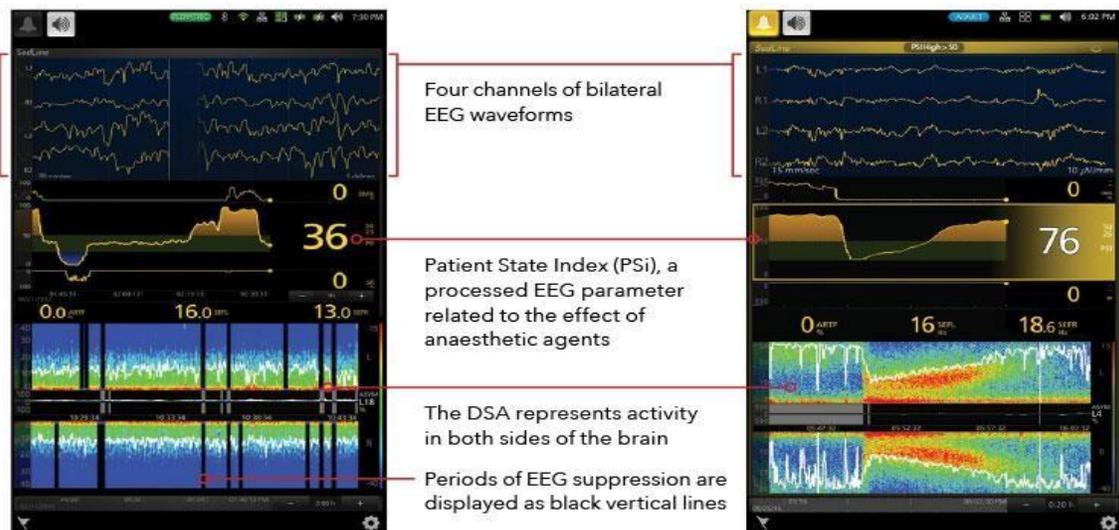
Este monitor toma en consideración adicional los factores como los cambios de potencia en la frecuencia del EEG; cambios en la simetría y sincronización de regiones cerebrales y la inhibición de regiones de la corteza frontal. Este monitor tiene un mejor rendimiento en casos ondas de EEG de baja energía, presentes en pacientes pediátricos y geriátricos, además de una menor susceptibilidad a la interferencia electromiográfica²³.

El equipo SedLine obtiene el EEG en tiempo real, el cual traduce a un espectrograma, donde cada ritmo se representa con base a su frecuencia en una escala de tiempo y de colores (espectro) los cuales van cambiando de rojo intenso (mayor proporción potencia de ondas), a azul (rangos de menor potencia)²³.



El espectrograma produce el Conjunto de densidad espectral (DSA) que representa una escala de frecuencia entre 0 y 40 Hz, produciendo un espectrograma o gráficos horizontales “L” y “R” (izquierdo y derecho) que corresponde a las regiones frontales izquierda y derecha de la corteza cerebral, brindando información oportuna para la toma de decisiones. El DSA se actualiza

cada 1.2 segundos mostrando los datos más actualizados al costado derecho del gráfico en color, con los períodos con artefacto en color blanco, y los períodos de supresión del EEG en color azul en la línea de tiempo de 0 Hz, al costado izquierdo y derecho. En cada gráfico de color, se muestra el 95 % de la frecuencia del margen espectral (SEF) a la izquierda y a la derecha como una línea blanca. Se han descrito espectrogramas diferentes para ciertos fármacos anestésicos, lo cual parece ser muy útil, sin embargo, en la practica clínica es resulta difícil utilizar un único agente para un procedimiento, además de que el anestesiólogo debe tener en cuenta variables cinéticas y. dinámicas modifican la actividad electroencefalográfica²³.



Un evento de EEG isoelectrico es definido por un lapso donde se presenta actividad con una amplitud $<20 \mu\text{V}$ durante ≥ 2 segundos, lo cual se traduce a una anestesia profunda, la cual esta relacionada con mayor incidencia de delirio postoperatorio en pacientes pediátricos y adultos. Estos eventos se tienen registrados en el estudio realizado por lan Yuan y cols, en el 2019, en 51 pacientes de 0 a 37 meses sanos que requirieron anestesia general de rutina (sevofluorano o propofol) apoyados con el monitor SedLine se trató d determinar si los eventos isoelectricos se generalizaron mas allá de la corteza frontal. Los resultados obtenidos revelaron que estos eventos se presentan hasta en un 63% de los pacientes, representando un 2.2% del tiempo total del procedimiento anestésico. Estos eventos se presentan de forma frecuente y de manera independiente a la técnica anestésica empleada^{23,24}.

En el 2022, se presento un protocolo de tesis sobre la Profundidad Anestésica necesaria medida por Monitoreo Neurológico EEGP (Electroencefalograma Procesado) en pacientes intervenidos de Craneotomía con el diagnóstico de Tumor Supra e Infratentorial **concluyendo** que si en todos los procedimiento anestésicos se utilizara el monitoreo electroencefalográfico, se brindaría lo más cercano a una «anestesia personalizada», al poder medir en tiempo real el efecto de los fármacos utilizados, brindando especial atención a la edad, no solo el peso por las características inherentes que diferencian al paciente pediátrico del adulto, además de las comorbilidades, la concentración del anestésico empleado, la intensidad del estímulo nociceptivo, entre otros, y así poder individualizar el manejo tratando de mantener un nivel de sedación adecuada²⁵.

Lo ultimo concuerda con la experiencia de la institución sobre el uso de un neuromonitoreo, lamentablemente estos resultados no están publicados de manera oficial; y es por todo lo anterior que el disponer de un monitoreo de EEG, un método no invasivo, aceptado y validado, resulta atractivo para guiar la profundidad anestésica en tiempo real logrando una titulación optima de cada fármaco anestésico, considerando tanto el despertar intraoperatorio, la superficialidad del plano anestésico, los eventos de supresión eléctrica y el tiempo de recuperación anestésica. Cabe mencionar que los estudios acerca de la aplicación de este monitoreo en población pediátrica son escasos, siendo las recomendaciones una adecuación en base a una población adulta mas estudiada.

JUSTIFICACIÓN

La cantidad de cirugías laparoscópicas que se realizan en nuestra unidad por múltiples circunstancias representa cerca del 20% del total de procedimiento que se realizan en un mes en los nueve quirófanos, representando un gasto importante en el presupuesto del hospital, sin contar el gasto que representa el procedimiento anestésico. El uso de monitorización de electroencefalograma procesado está comprobado que ayuda a una mejor titulación de fármacos anestésicos de forma individualizada, presentando ondas medibles, observables y predecibles acorde a la dosis utilizada, guiando el manejo anestésico para obtener la profundidad deseada y suficiente para el procedimiento al que es sometido el paciente, pudiendo evitar alteraciones desde un despertar intraoperatorio hasta lapsos de supresión de actividad cerebral, situaciones que pueden repercutir en el desarrollo neurológico del paciente pediátrico, eso sin contar la posibilidad de optimizar administración de los medicamentos a nivel administrativo y directamente económico. Si bien la interpretación de este tipo de monitores se encuentra dentro de la formación de un Anestesiólogo en su primer año de residencia, pues abarca temas de fisiología cerebral y neurodesarrollo dentro de su plan de estudios; pero su aplicación se limita por la presencia del aparato en el servicio de cada institución, pues resulta ser un equipo poco accesible por el costo. Con los resultados del presente estudio se podrá describir por primera vez la profundidad anestésica de los pacientes de nuestro hospital intervenidos de cirugía laparoscópica con anestesia general. Si bien, se ha hecho para otro tipo de cirugías un protocolo similar, no se ha explorado en cirugía laparoscópica infantil en nuestro hospital.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una anestesia general representa un estado de inconsciencia reversible secundario a la administración de fármacos con la finalidad de someter al paciente a un procedimiento sin dolor ni recuerdo del evento. Si la dosis administrada resulta incorrecta puede provocar desde despertar intraoperatorio, que el paciente este consiente durante el procedimiento, hasta un estado de depresión del sistema nervioso central con posterior retraso en el despertar o incluso alteraciones cognitivas/delirio, sobre todo en el paciente pediátrico. Por lo que empleo de un monitoreo de la función neurológica adquiere importancia, aunque sea una técnica en pleno desarrollo en pacientes pediátricos, ya que no se conoce el comportamiento de las ondas cerebrales en pacientes pediátricos bajo anestesia general.

La cirugía laparoscópica conforma una parte fundamental de la cirugía pediátrica desde su implementación, por lo que un manejo anestésico adecuado es imperativo para su empleo y desarrollo. Bajo esta premisa, y conociendo el espectro de efectos adversos y complicaciones a largo plazo generadas por utilizar dosis mal tituladas en los pacientes pediátricos nos formulamos la siguiente:

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son las características de la profundidad anestésica medida mediante electroencefalograma procesado en los pacientes sometidos a cirugía laparoscópica electiva en el Hospital de Pediatría “Dr. Silvestre Frenk Freund”?

HIPOTESIS

Debido a que se trata de un estudio descriptivo no requiere de una hipótesis.

OBJETIVOS

Objetivo General:

Describir las características de la profundidad anestésica medida mediante electroencefalograma procesado en pacientes sometidos a cirugía laparoscópica electiva en el Hospital de Pediatría “Dr. Silvestre Frenk Freund”

Objetivos específicos:

1.- Describir el nivel de profundidad anestésica por medio del rango de Psi en los pacientes sometidos a cirugía laparoscópica en el Hospital de Pediatría “Dr. Silvestre Frenk Freund” en 4 tiempos: basal, post-inducción anestésica, a la 1^{era} y 2^a hora de iniciado procedimiento quirúrgico, para obtener un valor basal en comparación con valores posteriores a la administración de anestésicos.

2.- Identificar cual es el ritmo de ondas electroencefalográficas (beta, Alpha, theta o delta) a través del valor de SEFL/SEFR en Hz que predomina en los pacientes sometidos a cirugía laparoscópica electiva en el Hospital de Pediatría “Dr. Silvestre Frenk Freund” en 4 tiempos: basal, post-inducción anestésica, a la 1^{era} y 2^a hora de iniciado procedimiento quirúrgico.

3.- Registrar las variables hemodinámicas (Tensión arterial Media, Frecuencia Cardiaca, Saturación periférica de O₂, EtCO₂, Temperatura) de los pacientes sometidos a cirugía laparoscópica electiva en el Hospital de Pediatría “Dr. Silvestre Frenk Freund” en 4 tiempos: basal, post-inducción anestésica, a la 1^{era} y 2^a hora de iniciado procedimiento quirúrgico.

4.- Describir las concentraciones de anestésicos utilizados: propofol dosis de inducción (mg/kg/hr), fentanilo (ng/ml) en los 3 tiempos: inducción anestésica, a la 1^{era} y 2^a hora de iniciado procedimiento quirúrgico; y de los agentes inhalados (sevofluorano) en CAM en 3 tiempos: post-inducción anestésica, a la 1^{era} y 2^a hora de iniciado procedimiento quirúrgico de los pacientes sometidos a cirugía laparoscópica electiva en el Hospital de Pediatría “Dr. Silvestre Frenk Freund”

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño del estudio: Serie de casos (descriptivo, observacional, prospectivo unicéntrico).

Universo del trabajo: Todos los pacientes pediátricos con edad de 2 a 16 años que sean programados para cirugía laparoscópica electiva en el Hospital de Pediatría "Dr. Silvestre Frenk Freund" del 1 al 30 de septiembre del 2023.

Criterios de Selección

a) Criterios de inclusión.

- Tomando en cuenta que la actividad eléctrica en menores a 2 años es muy variable y poco confiable con el monitoreo de EEGp que usaremos, incluiremos a pacientes de 2 a 18 años, ambos géneros, que sean programados para cirugía laparoscópica electiva bajo anestesia general, a quienes se les vaya a colocar el monitor Sedline (EEGp) para evaluar la profundidad anestésica durante el procedimiento quirúrgico.
- Pacientes con estado físico ASA I a III.

b) Criterios de eliminación

- Pacientes que tengan alteraciones del estado de conciencia previo al procedimiento anestésico, cuyo trazo en el EEG procesado este modificado previamente a la administración de medicamentos anestésicos, lo que impedirá una evaluación correcta.
- Pacientes con diagnóstico de epilepsia o alguna otra patología con componente convulsivo, cuyo trazo en el EEG procesado este modificado previamente a la administración de medicamentos anestésicos, lo que impedirá una evaluación correcta.
- Pacientes con diagnóstico o presencia de algún grado de deterioro neurológico ya sea crónico, congénito o agudo, dentro de sus antecedentes clínicos, previo a su ingreso al quirófano, cuyo trazo en el EEG procesado este modificado previamente a la administración de medicamentos anestésicos lo que impedirá una evaluación correcta.

c) Criterios de exclusión.

- Pacientes en donde no se pudo colocar sensor de monitor de EEG procesado o en los que la medición no pueda completarse para los 4 tiempos a estudiar, por cualquier causa.

DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES

Profundidad anestésica: índice de estado del paciente (Psi), frecuencia de margen espectral (derecho e izquierdo) (SEF -L/R).

Hemodinámicas: Tensión arterial media (TAM), Frecuencia cardiaca (FC), Saturación de Oxígeno (SatO₂), dióxido de carbono espirado durante un ciclo respiratorio (EtCO₂), temperatura.

Farmacológicas: concentración plasmática de propofol, fentanilo, CAM de sevofluorano.

Demográficos: Peso, edad, género, estado físico según la ASA.

CARACTERÍSTICAS DE LA PROFUNDIDAD ANESTÉSICA

Nombre	Definición Conceptual	Definición Operacional	Tipo de variable	Escala de medición
Psi (Índice de estado del paciente)	Índice de profundidad anestésica, parámetro procesado del EEG que se relaciona con el efecto de agentes anestésicos y que determina el grado de inconciencia producido al administrar medicamentos anestésicos hipnóticos	Medida para identificar la profundidad anestésica por medio de un puntaje donde 0 representa estar completamente despierto, el rango de 25-50 es el estado hipnótico óptimo para mantener a un paciente en anestesia general y <25 indicaría un estado de coma	Cuantitativa discreta	puntaje 0-100
SEF (Frecuencia del margen espectral)	Medida utilizada en el procesamiento de señales de EEG, se expresa como "SEFx", representa la frecuencia por debajo de la cual se encuentra el "x" por ciento de la potencia total de una señal dada o la actividad del EEG y se indica como una línea de tendencia blanca	Frecuencia por debajo del cual se encuentra el 95% de la actividad del EEG y se indica como una línea de tendencia blanca en cada uno de ambos gráficos a color correspondientes a las regiones izquierda y derecha	Cuantitativa discreta.	Rango 0 40Hz

HEMODINAMICAS

Nombre	Definición Conceptual	Definición Operacional	Tipo de variable	Escala de medición
TAM (Tensión arterial media)	Es la presión promedio en un ciclo cardiaco completo.	Se obtiene por la formula $PAM = 2(PAD) + PAS/3$, registrados en Monitor Datex Ohmeda Inc. 3030 drive BOX 7550 Wi 53707 USA, PAD: Presión arterial diastólica PAS: Presión arterial sistólica	Cuantitativa discreta.	mmHg
FC (Frecuencia cardiaca)	Número de veces que el corazón se contrae en un minuto	Numero de latidos cardiacos por minuto registrados en Monitor Datex Ohmeda Inc. 3030 drive BOX 7550 Wi 53707 USA,	Cuantitativa discreta	Latidos por minutos (lpm)
SatO2 (Saturación de Oxígeno)	Porcentaje de saturación de oxígeno de la hemoglobina obtenida por métodos fotoeléctricos	Porcentaje de oxigenación a nivel capilar mediante un pulsioxímetro pediátrico registrados en Monitor Datex Ohmeda Inc. 3030 drive BOX 7550 Wi 53707 USA,	Cuantitativa discreta	Porcentaje (%)
ETCO2 (dióxido de carbono espirado)	Concentración de CO2 a nivel alveolar y arterial	Dióxido de carbono espiratorio final se obtiene mediante capnografía registrados en Monitor Datex Ohmeda Inc. 3030 drive BOX 7550 Wi 53707 USA,	Cuantitativa discreta	mmHg
Temperatura	Es una magnitud que mide el nivel térmico o el calor que un cuerpo posee.	Medida para identificar el nivel térmico del cuerpo	Cuantitativa continua	Grados centígrados (°C)

FARMACOLOGICAS

Nombre	Definición Conceptual	Definición Operacional	Tipo de variable	Escala de medición Indicador
Dosis de Propofol	Dosis de propofol (derivado del disopropilfenol, inductor anestésico con recuperación rápida, depresor del SNC por potenciación del inhibidor GABA) administrada al paciente acorde a su peso en un rango de tiempo	Dosis de propofol administrado vía endovenosa dosis única en inducción y que se obtiene del total en mg de propofol por el peso (kg) del paciente.	Cuantitativa continua	mg/kg
Cp Fentanilo	Concentración en plasma de fentanilo (opioide sintético, agonista puro, actúa sobre los receptores μ_1 y μ_2)	Dosis de fentanilo administrado vía endovenosa. Se obtiene Total= μg Fentanilo / peso (kg) /tiempo anestésico (min)/aclaramiento Fentanilo (13)	Cuantitativa continua	ng/ml
CAM de sevoflorano	Concentración alveolar mínima, (anestésico halogenado que actúa a nivel del GABA)	Concentración alveolar a presión atmosférica, de sevoflorano que suprime la respuesta motora en el 50% de los individuos.	Cuantitativa continua	Puntaje de 0 a 1.5

DEMOGRÁFICOS

Nombre	Definición Conceptual	Definición Operacional	Tipo de variable	Escala de medición Indicador
Peso	Fuerza de gravitación universal que ejerce un cuerpo celeste sobre una masa.	Unidad de masa contemplada por el Sistema Internacional de Unidades.	Cuantitativa continua.	Kilogramo (kg)

Edad	Lapso transcurrido desde el nacimiento hasta el instante o periodo que se estima de existencia de la misma.	Edad en años cumplidos a la fecha de evento anestésico (valoración Preanestésica)	Cuantitativa discreta	Años
Género	Condición orgánica que distingue a las personas, así como diferencia de conducta que distingue a los organismos individuales, según las funciones que realizan en los procesos de reproducción y se dividen en hombres y mujeres.	El que se observe según el fenotipo de cada paciente.	Cualitativa nominal	Femenino/ Masculino
American Society of Anesthesiologists (ASA)	Clasificación de riesgo anestésico de acuerdo con el estado físico del paciente, circunstancias que pueden afectar las decisiones sobre el riesgo perioperatorio y el manejo.	Evaluación del estado físico previa a una intervención Quirúrgica.	Cualitativa Categórica	Estado físico del 1 al 6

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTUDIO

Previa autorización por parte del Comité local de Ética e Investigación en Salud de la UMAE Hospital de Pediatría CMN Siglo XXI “Dr. Silvestre Frenk Freund”, se realizaron los siguientes procedimientos:

1. A través de la revisión de la hoja de programación quirúrgica la alumna identificó a aquellos pacientes que cumplieron con los criterios de inclusión.
2. Una vez identificados los pacientes, previo a su ingreso a quirófano durante la valoración preanestésica, se invitó al paciente y sus padres/tutores legales a participar en el estudio mediante carta de consentimiento informado y asentimiento según sea el caso, la cual se firmó al aceptar.
3. El servicio de Anestesia cuenta con dos monitores de profundidad anestésica para su uso con un procedimiento estándar (Anexo 7). Es importante resaltar una vez que la alumna identificó los pacientes que fueron incluidos en el estudio, la alumna colocó el sensor para el monitoreo, observó y registró las variables de estudio y no intervino en la decisión del manejo anestésico, el cual se llevo a cabo por el medico anestesiólogo de base asignado a la sala.
4. La alumna registró en el instrumento de recolección diseñado para el estudio los datos del comportamiento del electroencefalograma en cuatro tiempos:

basal, post- inducción, a la hora y a las dos horas de iniciado el procedimiento anestésico.

5. Posteriormente, realizo la base de datos diseñada específicamente para el estudio.
6. Se realizó el análisis estadístico y la interpretación de los resultados para su posterior divulgación.

Tamaño de muestra:

No se calculó, tomando en cuenta que al tratarse de un estudio de serie de casos se incluirán todos los pacientes que cumplan con los criterios de selección dentro del periodo comprendido para el estudio (del 1ro al 30 de septiembre del 2023).

Tipo de muestreo: No probabilístico de casos consecutivos

ANALISIS ESTADÍSTICO

El análisis descriptivo se llevó a cabo mediante medidas de tendencia central y dispersión, de acuerdo con la escala de medición de las variables. Para las cualitativas, frecuencias simples y porcentaje mientras que para las cuantitativas media o mediana, y desviación estándar o intervalo intercuartílico, de acuerdo con el tipo de distribución, normal o libre, además de un análisis de varianza de medidas repetidas con el paquete estadístico SPSS versión 25.0. Los resultados se presentaron en tablas y gráficos.

CONSIDERACIONES ÉTICAS

Para realizar el presente proyecto de investigación se han considerado las pautas de la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial sobre principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos, adoptada por la 18ª Asamblea Médica Mundial en Helsinki, Finlandia en junio 1964 y enmendada por la 64ª Asamblea General, en Fortaleza, Brasil de octubre 2013,15 así como la Ley General de Salud en el Título III, Capítulo III artículo 41bis, fracción II y el Título Quinto, Capítulo único, Artículo 100 y el Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud en el Título II, Capítulo I, Artículos 13, 14, 16 y 17.20, 21.16.

La presente investigación se considera con riesgo mínimo, tomando en cuenta que, aunque solo se realizará la observación del registro del monitor, puede ser un factor estresante para los padres el ser invitados a un estudio de esta naturaleza tomando en cuenta que como se comenta en el apartado de descripción general del estudio si bien se cuenta con el monitor en el servicio del hospital, al solo ser dos equipos no se les coloca a todos los pacientes durante la anestesia.

Balance riesgo- beneficio: Consideramos que el beneficio es mayor que el riesgo de participar en el presente estudio tomando en cuenta los siguientes puntos: 1) Que se realizará la observación y registro del monitoreo de la profundidad anestésica y que si bien, se podrían realizar los ajustes adecuados a la dosis de anestesia por el médico anestesiólogo o anestesióloga de base asignado a la sala, los ajustes no forman parte del proyecto de investigación y ninguno de los investigadores realizará alguna modificación con fines de investigación y 2) existe el potencial beneficio de contar con un mayor conocimiento del comportamiento cerebral medido por electroencefalograma procesado (monitoreo de profundidad anestésica) y que estudios como este podrían considerarse de base para futuros proyectos que ayuden a esclarecer el comportamiento cerebral de los pacientes pediátricos bajo anestesia general.

Los datos resultantes de la investigación se guardaron en medios físicos (archivero con llave propiedad de la investigadora responsable, Dra. Marisa Josefina Guerrero Pesina) y electrónicos (USB) también propiedad de la Dra. Pesina por un tiempo de 5 años a partir de la aprobación del protocolo por los Comités de Ética e Investigación.

CONFIDENCIALIDAD

Para asegurar la confidencialidad de los participantes se asignará un número de folio en lugar del nombre y número de afiliación del paciente u otro tipo de identificador personal.

RECURSOS PARA EL ESTUDIO

- A) Recursos Humanos
 - Investigador principal
 - Asesores
 - Médicos anestesiólogos adscritos al servicio de anestesiología pediátrica
- B) Recursos Materiales
 - Monitor Massimo que forma parte del servicio de Anestesiología del hospital de Pediatría.
 - Expedientes clínicos
 - Hojas de recolección de datos e insumos de papelería
- C) Recursos Financieros

No se requirió de un financiamiento ya que se disponían de los recursos materiales y humanos dentro de la institución.

RESULTADOS

Del 1ero. al 30 de septiembre de 2023 en la UMAE Hospital de Pediatría del Centro Médico Nacional Siglo XXI “Dr. Silvestre Frenk Freund” se eligieron 20 procedimientos electivos de cirugía laparoscópica abdominal en pacientes pediátricos que cumplieron con los criterios de inclusión para considerarse en el presente estudio. No se eliminaron pacientes en seguimiento o análisis, las características demográficas de los pacientes se describen en la Figura1.

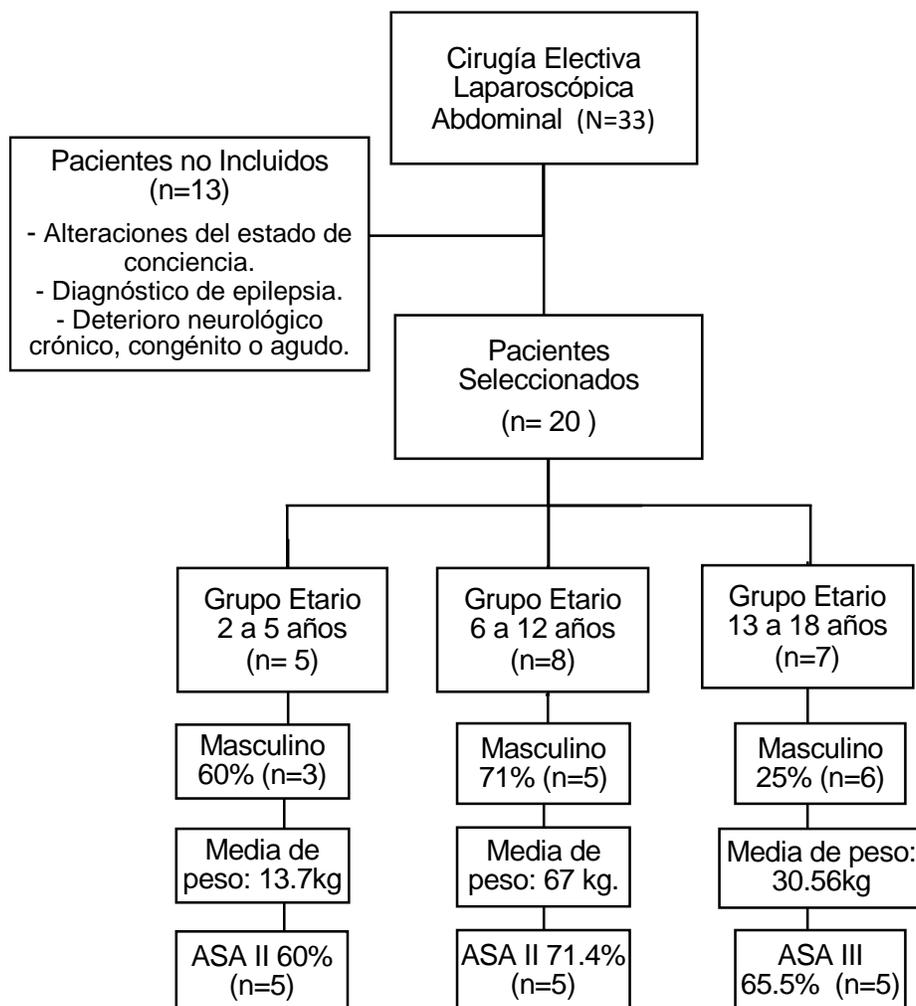


Figura 1: Flujo de pacientes para laparotomía de la UMAE de Pediatría del CMN siglo XXI del 1ero. al 30 de septiembre de 2023, de los 53 pacientes sometidos a cirugía laparoscópica abdominal electiva: 13 no incluidos, 20 incluidos, división por grupo etario y analizados.

Debido al amplio rango de edad que se incluye en el estudio se decidió la categorización de los pacientes en relación con las características de la actividad eléctrica por grupos etarios: de 2 a 5 años, 6 a 12 años y 13 a 17 años. En cuanto al estado clínico según el ASA, solo se obtuvieron 2 de las 5 categorías: ASA II (paciente con enfermedad sistémica controlada, leve a moderada y menores de 1 año) y ASA III (paciente con enfermedad sistémica severa).

Las variables **hemodinámicas** de los pacientes incluidos en el estudio se muestran en las tablas 1 a 3, se evaluaron 4 tiempos registrados, el T0 o Basal referente a los signos vitales de los pacientes previa a la administración de medicamentos, T1 los valores en inducción anestésica, T2 los valores registrados al cumplir la primera hora de inducción anestésica y T3 a la 2ª hora.

Tabla 1. Medias de Presión Arterial Media (TAM) de acuerdo con grupo etario

GRUPO ETARIO	TAM T0 (mmHg)	TAM T1 (mmHg)	TAM T2 (mmHg)	TAM T3 (mmHg)
2 a 5 años	65.6	58	66.2	66
6 a 12 años	72.8	57.5	60.1	66.3
13 a 18 años	78.8	65.5	66.5	71.2

Tabla 2. Medias Frecuencia Cardiaca (FC) de acuerdo con grupo etario

GRUPO ETARIO	FC T0 (lpm)	FC T1 (lpm)	FC T2 (lpm)	FC T3 (lpm)
2 a 5 años	118	101	98	104
6 a 12 años	98	100	102	96
13 a 18 años	79	70	66	71

Tabla 3. Medias de SatO2, Temperatura y EtCO2 de acuerdo con grupo etario

GRUPO ETARIO	VARIABLE	T0	T1	T2	T3
2 a 5 años	SatO2 (%)	93	99	97	97
	EtCO2 (mmHg)	-	34	35	34
	Temp (°C)	36.6	36.3	36.3	36.6
6 a 12 años	SatO2 (%)	96	99	98	98
	EtCO2 (mmHg)	-	35	33	32
	Temp (°C)	36.9	36.7	36.7	36.5
13 a 18 años	SatO2(%)	94	98	99	97
	EtCO2	-	37	33	32
	Temp	36.4	36.2	36.1	36.3

La variable de EtCO2 solo se registró a partir del T1 (Inducción anestésica) debido a que es una medición invasiva por capnografía través del tubo endotraqueal, y la valoración basal con mascarilla facial no es confiable.

Para el análisis de las variables de las concentraciones de anestésicos utilizados

los resultados obtenidos para **propofol** (dosis de inducción en mg/kg) en el Tiempo 1 o inducción anestésica de acuerdo con el grupo etario se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Media en la dosis de PROPOFOL

GRUPO ETARIO	Dosis (mg/kg)
2 a 5 años	2 ± 0.7
6 a 12 años	1.9 ± 1.1
13 a 16 años	2 ± 0.4

Las Cp de **fentanilo** (expresadas en ng/ml) en 3 tiempos evaluados: Tiempo 1 para inducción anestésica, Tiempo 2 y 3 para la 1era y 2a hora de iniciado procedimiento quirúrgico respectivamente, se representan en la Grafica 1; y de los agentes inhalados (sevofluorano) en CAM (Grafica 2) en 3 tiempos: Tiempo 1 (post-inducción anestésica), Tiempo 2 y 3 a la 1^{era} y 2^a hora de iniciado procedimiento quirúrgico, respectivamente.

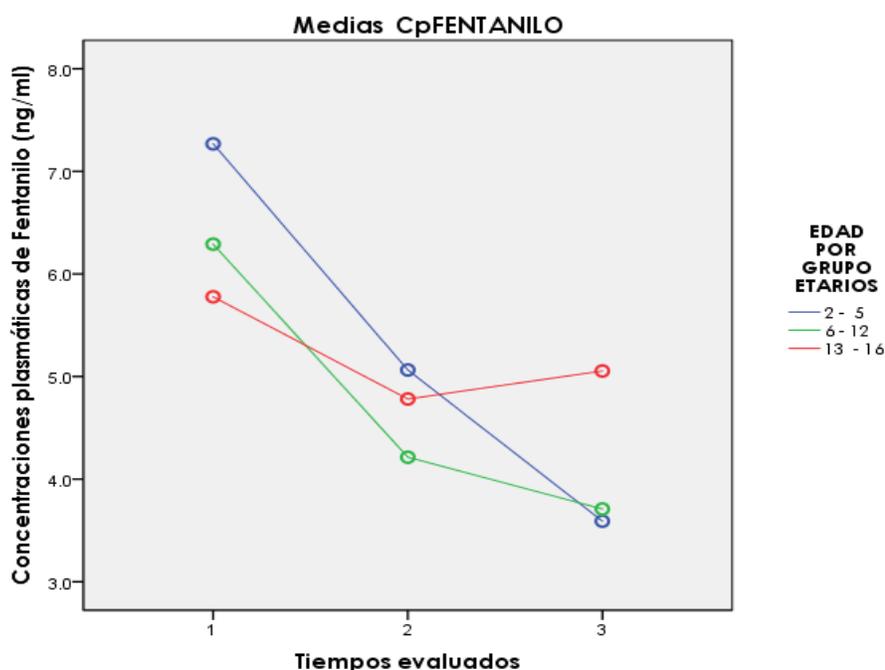


Grafico 1. Concentración plasmática (Cp) de fentanilo (ng/ml), en los diferentes tiempos evaluados, en donde 1= Tiempo 1 corresponde a inducción anestésica, 2 =Tiempo 2, es decir una hora después de iniciado el procedimiento quirúrgico y 3 es el Tiempo 3, es decir 2 horas después de iniciado el procedimiento quirúrgico.

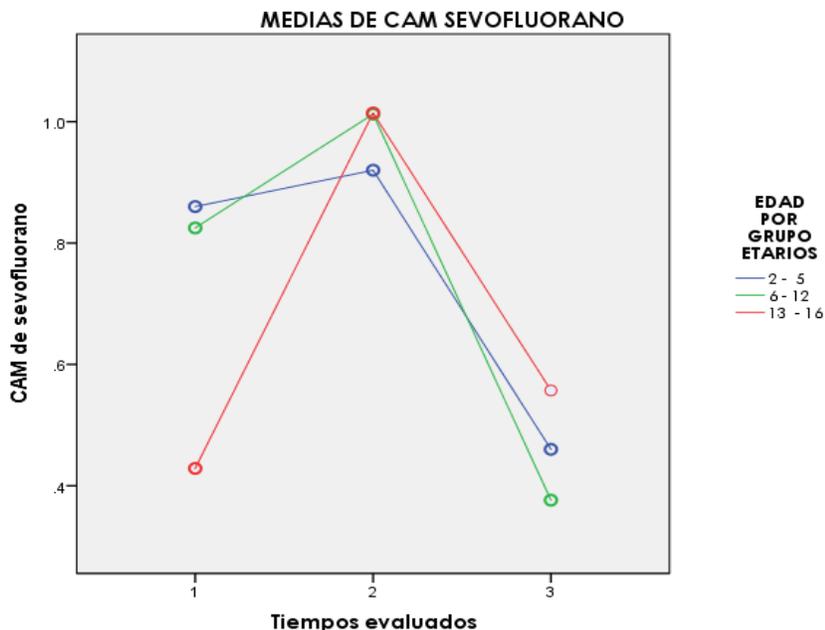


Gráfico 2. Concentración de Sevofluorano expresada en CAM, en donde 1= Tiempo 1 corresponde con post-inducción anestésica, 2 =Tiempo 2, una hora después de iniciado el procedimiento quirúrgico y 3 es el Tiempo 3, es decir 2 horas después de iniciado el procedimiento quirúrgico.

En relación con la variable utilizada para describir el nivel de profundidad anestésica por medio del rango de **PSi**, también registradas en 4 tiempos: T0 o Basal previa a la administración de anestésicos, T1 los valores en inducción anestésica, T2 los valores registrados al cumplir la primera hora post-inducción anestésica y T3 a la 2ª hora, de igual manera también se analizó por grupo etario. Los valores obtenidos de dicho análisis se registran en la Tabla 5 y se representan en la Grafica 3.

Tabla 5. Medias PSi de acuerdo con grupo etario.

GRUPO ETARIO	PSI T0 (media/rango)	PSI T1 (media/rango)	PSI T2 (media/rango)	PSI T3 (media/rango)
2 a 5 años	87 (78-93)	24 (17-33)	41 (25-73)	67 (31-87)
6 a 12 años	87 (78-96)	31 (17-51)	33 (20-52)	56 (32-85)
13 a 18 años	88 (81-97)	35 (23-59)	41 (17-73)	54 (15-84)

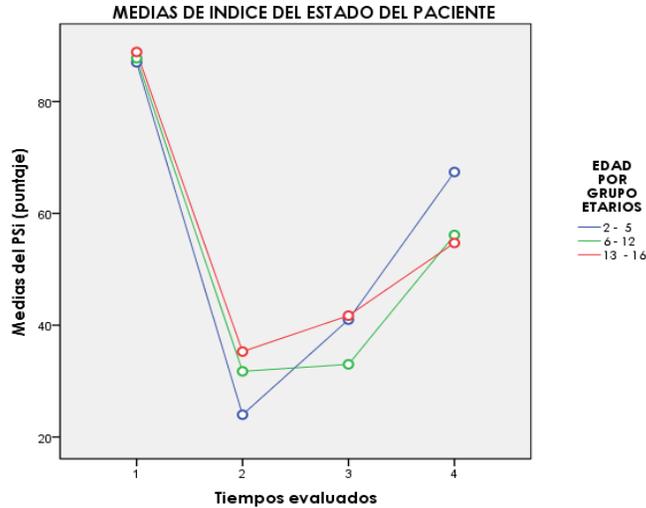


Grafico 3. Medias de los valores de Psi en los diferentes tiempos, en donde 1= Tiempo 0 o basal, 2 es el Tiempo 1 o Inducción anestésica, 3 es el Tiempo 2 (1 hora después de iniciado el procedimiento quirúrgico) y 4 es el Tiempo 3, es decir 2 horas después de iniciado el procedimiento.

Con respecto a las variables estudiadas para identificar las ondas EEGp (beta, Alpha, theta o delta) a través del valor de **SEFL/SEFR** en Hz, es decir, el predominio de ritmo en las ondas a través de estos datos en los 4 tiempos evaluados y ya descritos previamente con la variable PSI, se realizó una división para el análisis de medias para el lado izquierdo (Grafica 4) y para el derecho (Grafica 5).

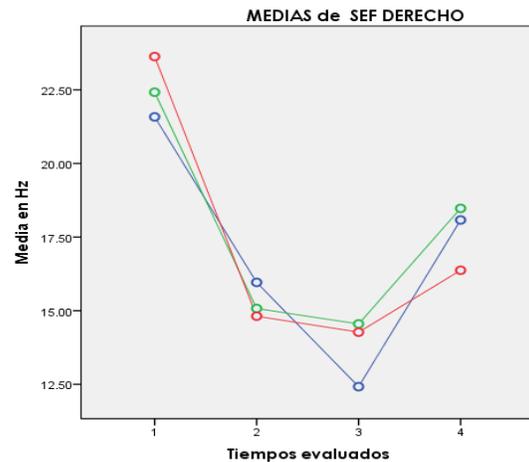
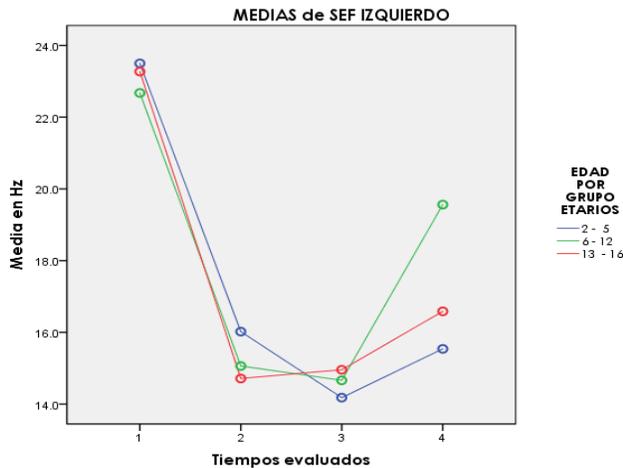


Grafico 4. SEFL (izquierdo) **Grafico 5.** SEFR (derecho) medias en Hz, en donde 1= Tiempo 0 o basal, 2 es el Tiempo 1 o Inducción anestésica, 3 es el Tiempo 2 (1 hora después de iniciado el procedimiento quirúrgico) y 4 es el Tiempo 3, es decir 2 horas después de iniciado el procedimiento quirúrgico.

De igual forma los valores obtenidos para cada grupo etario de las variables SEF izquierda (L) y derecha (R) también se describen en la Tabla 6, ambas mediciones en Hz y por tiempos evaluados.

Tabla 6. Medias SEFL/SEFR de acuerdo con grupo etario.

GRUPO ETARIO	SEFL/SEFR T0 (media/rango)	SEFL/SEFR T1 (media/rango)	SEFL/SEFR T2 (media/rango)	SEFL/SEFR T3 (media/rango)
2 a 5 años	23.5 (20.6 a 26.3) / 21.5 (18.8 a 24.2)	16.0 (11.8 a 20.1) / 15.9 (11.1 a 20.7)	14.1 (10.3 a 18.0) / 12.4 (7.8 a 16.9)	15.5 (11.1 a 19.8) / 18.0 (13.5 a 22.6)
6 a 12 años	22.6 (20.4 a 24.9) / 22.4 (20.2 a 24.5)	15.0 (11.7 a 18.3) / 15.0 (11.2 a 18.8)	14.6 (11.6 a 17.7) / 14.5 (10.9 a 18.1)	19.5 (16.1 a 23.0) / 18.4 (14.8 a 22.0)
13 a 18 años	23.2 (20.8 a 25.6) / 23.6 (21.3 a 25.8)	14.7 (11.2 a 18.2) / 14.8 (10.7 a 18.8)	14.9 (11.6 a 18.2) / 14.2 (10.4 a 18.0)	16.5 (12.9 a 20.2) / 16.3 (12.5 a 20.1)

DISCUSIÓN

El número de procedimientos de laparoscópicos, como cirugías mínimamente invasiva o cirugías de acceso mínimo ha incrementado notablemente en el paciente pediátrico en las últimas décadas, esto ha derivado en que un manejo anestésico adecuado es imperativo para su empleo y desarrollo. Aunque la anestesia general y la sedación se consideran seguras, la posibilidad de neurotoxicidad durante el procedimiento anestésico en el paciente pediátrico no está clara, lo que indica el desarrollo de neuromonitoreo accesible al anesthesiólogo durante éstos procedimientos que ayudaría a prevenirla al ajustar las dosis de fármacos, generalmente hipnóticos; sin embargo, no se cuentan con suficientes estudios en población pediátrica mexicana para guiar el comportamiento farmacológico, motivo por el cual el objetivo principal del presente estudio fue describir las características de la profundidad anestésica medida mediante EEGp en pacientes sometidos a cirugía laparoscópica electiva del Hospital de Pediatría “Dr. Silvestre Frenk Freund” y se llevó a cabo del 1ro al 30 de septiembre de 2023; de los 33 pacientes sometidos a cirugía laparoscópica abdominal electiva, 20 fueron incluidos para el estudio, fueron categorizados por rango de edad en relación con las características de la actividad eléctrica: de 2 a 5 años, 6 a 12 años y 13 a 16 años; siendo el grupo predominante pacientes entre 6 a 12 años (40%). Respecto al estado físico de la ASA se registraron 55% de los pacientes ASA 2 y 45% ASA 3. Las variables demográficas tuvieron una distribución normal de acuerdo con la categoría de grupo etario. El peso de los pacientes se presento con menor variación en los grupos de menor edad (grupos 2 a 5 y 6 a 12) en comparación a los adolescentes (grupo etario de 13 a 16 años), en quienes se registraron valores en un rango mas amplio.

De las variables hemodinámicas tampoco mostraron variaciones en el análisis estadístico, el comportamiento de las variables eran acorde a los percentiles por cada grupo etario. Es importante mantener un balance entre el FSC y la demanda metabólica de cada paciente durante el evento quirúrgico; los resultados obtenidos tampoco demostraron variaciones en las variables de SatO₂, Temperatura y EtCO₂, lo cual indicaría que no se evidenciaron alteraciones que pudieran corresponder con eventos de desaturaciones (hipoxemia), hipotermia, hiper o

hipocapnia que pudieran alterar la actividad cerebral (FSC y demanda metabólica) de los pacientes. Lo anterior se evaluó para descartar variables de confusión que pudieran alterar el patrón de EEGp. (Anexo 1)

Los fármacos anestésicos se dosifican utilizando modelos farmacocinéticos basados en la población en la que se aplica, edad, peso y otras variables, como el estado clínico; sin embargo, los pacientes pueden responder de manera diferente a los fármacos anestésicos. En la literatura se reporta que enfoque para mantenimiento anestésico en niños ajustando la dosis mediante monitorización cerebral sería la puerta a mejores resultados, sin embargo, dado que el sistema nervioso sufre cambios significativos desde el nacimiento, el comportamiento en el electroencefalograma inducido por la anestesia en niños difiere del paciente adulto, por lo que se tendrían que ajustar los actuales monitores de profundidad anestésica (desarrollados en paciente adulto) que resultan inexactos cuando se aplican a niños.^{27, 28,29}

La media de dosis de Propofol empleada en los pacientes en este estudio logró inducir el estado hipnótico deseado, y no presento gran variación por grupo etario, sin embargo, su desviación fue mayor en el paciente de 6 a 2 años, reflejando un probable ajuste de dosis. Si bien poco se han estudiado los cambios relacionados del EEGp inducido por el propofol en niños, algunos reportes han encontrado cambios relacionados con la edad en los espectros de potencia del electroencefalograma, con un aumento en la potencia del electroencefalograma durante los primeros años de vida, seguidos de una disminución en la adolescencia. Estos datos podrían indicar que la necesidad de un ajuste de dosis por grupo etario en escolares podría estar relacionados con procesos subyacentes del desarrollo neurológico que ocurren durante estas edades, como lo son la sinaptogénesis, la maduración de los circuitos neuronales, la marcada mielinización, presentado una densidad sináptica que alcanza su punto máximo alrededor de los 6 a 10 años de edad.²⁷

La concentración plasmática media de fentanilo en el Tiempo 1 fue mayor a comparación de los otros tiempos lo cual resulta intencional considerando su papel en la inducción anestésica, sin embargo, se debe tomar en cuenta que este fármaco puede inducir oscilaciones lentas en el electroencefalograma en dosis altas, sobre todo cuando no se toma en cuenta la actividad refleja de EEGp.³⁰

La media de CAM de Sevofluorano fue menor en el grupo etario de 13 a 16 años, en comparación con los valores obtenidos en grupos menores; y en el Tiempo 3 la media menor obtenida fue en el grupo etario de 6 a 12 años. La revisión literaria reporta que las oscilaciones del electroencefalograma inducidas por sevofluorano varían con la edad en los niños, y que una anestesia general mantenida con sevofluorano se asocia con oscilaciones alfa frontales grandes, lentas y coherentes, pero de igual manera presenta oscilaciones theta cuyo poder también varían con la edad. Las diferencias en la estructura oscilatoria que varía con la edad en los electroencefalogramas inducidos por sevofluorano a comparación con otros anestésicos podrían reflejar diferencias en los efectos a nivel de circuito y receptor de estos fármacos, pues este halogenado también actúa en varios otros receptores, incluidos el N-metilD aspartato, la serotonina y los canales de potasio de dos poros; esto resulta de suma importancia a la hora de balancear las dosis empeladas en cada procedimiento tanto en función del estado clínico del pacientes, como la duración del procedimiento, recordando que mientras mayor sea la exposición mayor probabilidad de efectos adversos a largo plazo, si no también considerar la repercusión en el EEGp en el momento del tiempo anestésico, junto con su interacción con otros fármacos reflejado en la actividad cerebral del paciente.³¹

Los sistemas de monitorización no invasivos se fundamentan en un registro electroencefalográfico obtenido por un sensor que se coloca en la frente del paciente. El monitor procesa la señal eléctrica cerebral y refleja mediante un número el grado de inconsciencia, que en muchas ocasiones este número no corresponde con el contexto clínico del paciente.³² Los datos obtenidos de PSi en el T0 o basal fueron constantes en los 3 grupos etarios, los valores iniciales se

mantuvieron con una media de 87, lo que correspondería a un estado despierto, considerando que los valores de SEFL/R se mantuvieron en un rango de media de 21 a 23.5Hz que acorde al Anexo 3 reflejaría una actividad *beta*. Para el Tiempo 1, post-inducción, los valores descienden para mantenerse dentro del parámetro referido para el estado de hipnosis adecuado para un evento anestésico, de 25 a 50, sin embargo, los valores de las medias SEFL/R registrados fueron de 14.7 a 16 que pareciera coincidir con un patrón de ondas *alpha*. Por otro lado, para el Tiempo 2, es decir la medición realizada a la hora de iniciado el procedimiento quirúrgico, la medición de PSi se mantuvo de 33 a 41 (igualmente con valores que corresponden a una hipnosis óptima) aunque con valores de SEFL/R permanecen 12.4 a 14.9 Hz, representan una leve disminución, y pudieran corresponder con la acumulación del anestésico (vida media sensible al contexto), sin embargo dado el diseño del estudio el análisis de correlación que implica asociación no se realizó. Para el Tiempo 3, a las 2 horas de iniciado el procedimiento quirúrgico los valores de PSi fueron en un rango de medias de 54 a 67, con valores de SEFL/R de 15.5 a 19.5Hz que correspondería nuevamente con actividad *Alpha*, los valores reportados corresponderían a un estado de sedación más que a un estado de hipnosis; encontrando diferencias similares a los hallazgos encontrados en la literatura, pues se refiere por Lee, et al, en su estudio del 2017 que los niños tienden a tener mayor potencia que los adultos en las oscilaciones de las bandas beta y gamma (13 a 40 Hz), lo cual se asocia con niveles más ligeros de anestesia y de una conciencia emergente, debido a que los monitores de profundidad anestésica interpretan la potencia en frecuencias más altas para indicar niveles más ligeros de anestesia o mayores niveles de conciencia. Se tendrían que ajustar estos valores si se aplican a niños, debido a que malinterpretar el aumento de la potencia y frecuencia sugiriendo un paciente que no está adecuadamente anestesiado, lo que, a su vez, podría llevar a administrar niveles más altos de anestésicos de los realmente son necesarios. ^{22, 27, 28, 31.}

Ningún paciente presento tasas de supresión, es decir una profundidad anestésica (componente hipnótico) excesiva (respecto al estímulo aferente) en base a

mediciones de SEFL/R menores a 5Hz. ^{9, 12, 15, 25.}

Los valores de SEFR y SEFL reflejan como son necesarios los ajustes farmacológicos en base a las características clínicas del paciente, desde peso, edad, hasta patologías asociadas y situaciones del procedimiento quirúrgico; sin embargo hay que considerar que los valores de SEFL/SEFR muestran una lectura dinámica, en donde es permisivo que se presenten oscilaciones en el patrón de EEGp, es decir, que un patrón de hipnosis optima cambie de actividad theta a alpha, o bien, theta a delta, de forma alternativo y no estatica^{20, 21, 25.}

Aunque el tamaño de nuestra muestra fue pequeño (n=20) es importante insistir en una Anestesia basada en monitores de profundidad anestésica con parámetros en tiempo real y que se pueden interpretar de manera individualizada, acorde a las necesidades y condiciones de cada paciente, para mejorar su atención y tal vez repercutir favorablemente en su resultado final; sin embargo, es necesaria la realización de más estudios para consolidar y visibilizar el comportamiento cerebral de los pacientes pediátricos que incluyan el patrón de espectrograma.

CONCLUSIONES.

Este estudio tenía la finalidad de reportar el comportamiento de la actividad cerebral de los pacientes pediátricos bajo Anestesia general representado en los valores de PSi y SEFR/L, que tradujeran la profundidad anestésica alcanzada, que si bien representaba un estado hipnótico óptimo, los valores de frecuencia de las ondas no corresponden con los valores de ondas theta y delta esperadas referido en la bibliografía modificada en base al paciente adulto, pero que fueron consistentes con otros estudios.^{27, 34.}

Comprender cómo se corta y cambia la actividad eléctrica con la anestesia general, durante el desarrollo neurológico de los pacientes pediátricos permite desarrollar formas más efectivas de establecer y controlar la profundidad anestésica en niños, para así mejorar la seguridad de la practica anestésica.

LIMITANTES DEL ESTUDIO:

El diseño del estudio, solo nos permite explorar el comportamiento de la población pediátrica sin embargo sienta las bases para futuros estudios, y así esclarecer el patrón de comportamiento mostrado en el EEGp con reglas que se puedan aplicar en distintos grupos de pacientes con diferentes condiciones clínicas o que se someten a distintos procedimientos.

Otra limitación de este estudio observacional es que el manejo anestésico de los pacientes no estaba controlado ni estandarizado. Como tal, es posible que las diferencias en el manejo anestésico de estos pacientes hayan influido en las diferencias observadas en el electroencefalograma.

La tercera limitante es que no realizamos el análisis del espectrograma, el cual es una estructura tridimensional, que se traza con representación bidimensional, denominada matriz de densidad espectral (MDE) o siglas en ingles DSA (Density Spectral Array) al ser un análisis espectral o representación gráfica de EEG es

decir, una imagen que se interpreta sobre la forma de bandas alfa y delta, lo cual es un reflejo de la actividad eléctrica (figura 2). Una opción para medir esto es a través del análisis de coherencia espectral muestra el grado de correlación que hay entre dos señales a una frecuencia determinada y podría ser aplicado a los diferentes fármacos para definir el mecanismo de acción a nivel de los circuitos neuronales de los diferentes fármacos anestésicos, un espectrograma sin procesar para monitorear los estados cerebrales durante la anestesia general y la sedación. Al día de hoy, no es un método universalmente establecido para la valoración de la profundidad anestésica.

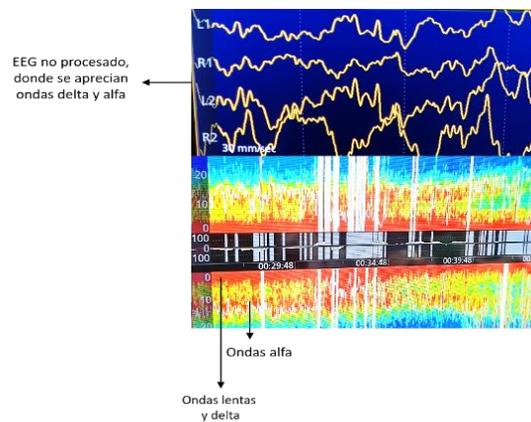


Figura 2. DSA representación gráfica del EEGp

BIBLIOGRAFIA

1. Srimurthy, K. R., & Ramesh, S. (2004). Pediatric laparoscopic surgery-Indian scenario. *The Indian Journal of Pediatrics*, 71(12), 1121–1126. <https://doi.org/10.1007/BF02829828>
2. Kiblawi, R., Zoeller, C., Zanini, A., Kuebler, J. F., Dingemann, C., Ure, B., & Schukfeh, N. (2022). Laparoscopic versus open pediatric surgery: three decades of comparative studies. *European Journal of Pediatric Surgery*, 32(01), 9–25.
3. Spinelli, G., Vargas, M., Aprea, G., Cortese, G., & Servillo, G. (2016). Pediatric anesthesia for minimally invasive surgery in pediatric urology. *Translational Pediatrics*, 5(4), 214.
4. Medina Alva, M. del P., Kahn, I. C., Muñoz Huerta, P., Leyva Sánchez, J., Moreno Calixto, J., & Vega Sánchez, S. M. (2015). Neurodesarrollo infantil: características normales y signos de alarma en el niño menor de cinco años. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 32, 565–573.
5. Hernández-Cortez, E. (2016). Efecto de los anestésicos en el desarrollo cerebral de niños. *Anestesia En México*, 28(2), 32–37.
6. Wegner, A., & Céspedes, P. (2011). Traumatismo encefalocraneano en pediatría. *Revista Chilena de Pediatría*, 82(3), 175–190.
7. Klein KU, Engelhard K, Werner C. Pediatric neuroanesthesia-physiology and pathophysiology of the children's cerebrum. *Anesthesiology Intensivmed* 2007;42(6):432-8.
8. Zhou, Z., & Ma, D. (2014). Anaesthetics-induced neurotoxicity in developing brain: an update on preclinical evidence. *Brain Sciences*, 4(1), 136–149.
9. Wilder, R. T., Flick, R. P., Sprung, J., Katusic, S. K., Barbaresi, W. J., Mickelson, C., Gleich, S. J., Schroeder, D. R., Weaver, A. L., & Warner, D. O. (2009). Early exposure to anesthesia and learning disabilities in a population-based birth cohort. *The Journal of the American Society of Anesthesiologists*, 110(4), 796–804.
10. Reinoso-Barbero, F., Peiré-García, M.-A., Miró, J., Torres, L.-M., & Contreras, D. (2017). Neurotoxicidad de la anestesia general, niños menores de 3 años y la FDA: ¿cuál es el alcance de la alarma? *Revista de La Sociedad Española Del Dolor*, 24(6), 283–287.
11. Andropoulos, D. B., & Greene, M. F. (2017). Anesthesia and developing brains—implications of the FDA warning. *New England Journal of Medicine*, 376(10), 905–907.
12. Álvarez, J., Paredes, R. M., Cambra, F. J., Vento, M., López, M., de Agustín, J. C., & Moral, M. T. (2017). Más de tres horas y menos de tres años. Seguridad de procedimientos anestésicos en niños menores de tres años, sometidos a cirugías de más de tres horas. *Cir. Pediatr*, 3–8.
13. McCann, M. E., de Graaff, J. C., Dorris, L., Disma, N., Withington, D., Bell, G., Grobler, A., Stargatt, R., Hunt, R. W., & Sheppard, S. J. (2019). Neurodevelopmental outcome at 5 years of age after general anaesthesia or awake-regional anaesthesia in infancy (GAS): an international, multicentre, randomised, controlled equivalence trial. *The Lancet*, 393(10172), 664–677.
14. Sun, L. S., Li, G., DiMaggio, C. J., Byrne, M. W., Ing, C., Miller, T. L. K., Bellinger,

- D. C., Han, S., & McGowan, F. X. (2012). Feasibility and pilot study of the Pediatric Anesthesia NeuroDevelopment Assessment (PANDA) project. *Journal of Neurosurgical Anesthesiology*, 24(4), 382–388.
15. Warner, D. O., Zaccariello, M. J., Katusic, S. K., Schroeder, D. R., Hanson, A. C., Schulte, P. J., Buenvenida, S. L., Gleich, S. J., Wilder, R. T., & Sprung, J. (2018). Neuropsychological and behavioral outcomes after exposure of young children to procedures requiring general anesthesia: the Mayo Anesthesia Safety in Kids (MASK) study. *Anesthesiology*, 129(1), 89–105.
 16. Hernández-Cortez, E. (2015). Effects of anesthesia on children's brain development. *Journal of Anesthesia and Critical Care Open Access*, 2(6).
 17. Zuleta-Alarcón, A., Castellón-Larios, K., Niño-de Mejía, M. C., & Bergese, S. D. (2015). Total intravenous anaesthesia versus inhaled anaesthetics in neurosurgery. *Colombian Journal of Anesthesiology*, 43, 9–14.
 18. Soehle, M., Ellerkmann, R. K., Grube, M., Kuech, M., Wirz, S., Hoefft, A., & Bruhn, J. (2008). Comparison between bispectral index and patient state index as measures of the electroencephalographic effects of sevoflurane. *The Journal of the American Society of Anesthesiologists*, 109(5), 799–805.
 19. Salgado Castillo, A., & Montoya Pedrón, A. (2016). Técnicas para el monitoreo de los niveles de profundidad anestésica. *Medisan*, 20(6), 820–833.
 20. Bruns, N., Blumenthal, S., Meyer, I., Klose-Verschuur, S., Felderhoff-Müser, U., & Müller, H. (2017). Application of an amplitude-integrated EEG monitor (cerebral function monitor) to neonates. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, 127, e55985.
 21. García-Colmenero, I. G., Zorrilla-Mendoza, J. G., Vega-Anzures, L. A., & García-Nájera, O. (2018). Electroencefalografía para el anesestesiólogo, consideraciones clínicas. *Revista Mexicana de Anestesiología*, 41(S1), 39–43.
 22. Masimo (NASDAQ: MASI). (2023). *Monitorización de la función cerebral, Datos más completos para una imagen más completa*. © 2023 Masimo. Todos Los Derechos Reservados. <https://www.masimo.es/technology/brain-monitoring/sedation/>.
 23. Gallardo-Hernández, A. G., Hernández-Pérez, A. L., Sánchez-López, J. A., Ordoñez-Espinosa, G., Islas-Andrade, S., & Revilla-Monsalve, C. (2016). Monitores de profundidad anestésica. *Revista Mexicana de Anestesiología*, 39(3), 201–204.
 24. Yuan, I., Landis, W. P., Topjian, A. A., Abend, N. S., Lang, S.-S., Huh, J. W., Kirschen, M. P., Mensinger, J. L., Zhang, B., & Kurth, C. D. (2020). Prevalence of isoelectric electroencephalography events in infants and young children undergoing general anesthesia. *Anesthesia & Analgesia*, 130(2), 462–471.
 25. Barragán-Jiménez, C., & Guerrero-Pesina, M. J. (2022). *Profundidad anestésica mediante monitoreo neurológico (EEG/Espectrograma) en pacientes operados de craneotomía por tumor supra e infratentorial en el Hospital de Pediatría "Dr. Silvestre Frenk Freund" [tesis de grado]*. Universidad Nacional Autónoma de México.
 26. Castellanos-Olivares, A., Rascón-Martínez, D. M., Genis-Zárate, H. J., & Vásquez-Márquez, P. I. (2014). Profundidad anestésica y morbimortalidad postoperatoria. *Revista Mexicana de Anestesiología*, 37(S1), 108-112.

27. Lee, J. M., Akeju, O., Terzakis, K., Pavone, K. J., Deng, H., Houle, T. T., Firth, P. G., Shank, E. S., Brown, E. N., & Purdon, P. L. (2017). A prospective study of age-dependent changes in propofol-induced electroencephalogram oscillations in children. *Anesthesiology*, 127(2), 293–306. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000001717>
28. Davidson AJ: Monitoring the anaesthetic depth in children: An update. *Curr Opin Anaesthesiol* 2007; 20:236–43
29. Davidson AJ, Sale SM, Wong C, McKeever S, Sheppard S, Chan Z, Williams C: The electroencephalograph during anesthesia and emergence in infants and children. *Paediatr Anaesth* 2008; 18:60–70.
30. Sebel PS, Bovill JG, Wauquier A, Rog P: Effects of highdose fentanyl anesthesia on the electroencephalogram. *ANESTHESIOLOGY* 1981; 55:203–11
31. Akeju O, Pavone KJ, Thum JA, Firth PG, Westover MB, Puglia M, Shank ES, Brown EN, Purdon PL: Age-dependency of sevoflurane-induced electroencephalogram dynamics in children. *Br J Anaesth* 2015; 115(suppl 1):i66–76
32. López Herrero, R., Sánchez Quirós, B., & Velasco Villanueva, D. (2021). Electroencefalografía clínica para el anesestesiólogo. *Revista Electrónica AnestesiaR*, 13(2). <https://doi.org/10.30445/rear.v13i2.896>
33. Warner, D. S., Purdon, P. L., Sampson, A., Pavone, K. J., & Brown, E. N. (2015). The Electroencephalogram and Brain Monitoring under General Anesthesia Clinical Electroencephalography for Anesthesiologists Part I: Background and Basic Signatures. www.anesthesiaEEG.com
34. Hagihira, S. (2015). Changes in the electroencephalogram during anaesthesia and their physiological basis. In *British Journal of Anaesthesia* (Vol. 115, pp. i27–i31). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/bja/aev212>

ANEXOS

ANEXO 1. Principales valores neurofisiológicos de acuerdo al grupo de edad.

Edad	PAM (mmhg)	PIC (mmhg)	FSC (ml/100gr/min)	CMRO2 (ml/100gr/min)
2 a 3 años	70 -75	3 -7	50 -80	4 - 5
4 a 16 años	70 - 80	5 - 12	50 - 100	3.5 - 5

ANEXO 2.- Clasificación del estado físico de acuerdo con la American Society of Anesthesiology (ASA)

ASA 1.- Paciente sano sin alteraciones físicas ni metabólicas.

ASA 2.- Paciente con enfermedad sistémica controlada, con alteración leve a moderada. También se incluyen los pacientes menores de 1 año de edad.

ASA 3.- Paciente con enfermedad sistémica severa,

ASA 4.- Paciente con trastornos severos, con peligro constante para la vida

ASA 5.- Paciente moribundo con pocas expectativas de vida en las próximas 24hrs, sea o no intervenido quirúrgicamente.

ASA 6.- Paciente con muerte cerebral, posible donador cadavérico.

ANEXO 3 Electroencefalografía en niños

Tipo de onda	Ciclos/ segundo (Hz)	Amplitud (uV)
Delta	1-3	>50
Theta	4-7	20-50
Beta	13-30	8-12 (<20)
Alfa	8-12	15-45

Tabla 6-1

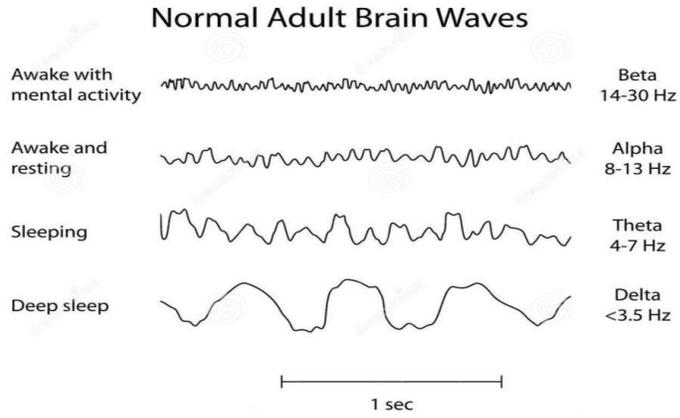
Características de las ondas descritas por el EEG

Grupo etáreo	Valor normal	Valor anormal
4 meses	4 Hz	< 5 Hz
12 meses	6 Hz	< 5 Hz
3 años	8 Hz	< 6 Hz
4 años	8 Hz	< 7 Hz
5 años	8 Hz	< 7 Hz
6 años	8 Hz	< 7 Hz
7 años	8 Hz	< 7 Hz
8 años	8 Hz	< 7 Hz
9 años	9 Hz	< 8 Hz
10 años	10 Hz	< 8 Hz
> 10 años	> 9 Hz	< 8 Hz

Tabla 6-2

Valores normales y anormales del ritmo alfa según grupo etáreo

ANEXO 4 Electroencefalografía en Adulto



ANEXO 5. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS



INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL UMAE HOSPITAL DE PEDIATRIA
 "DR. SILVESTRE FRENK FREUND" CENTRO MÉDICO NACIONAL SIGLO XXI
 DEPARTAMENTO DE ANESTESIOLOGÍA



"CARACTERÍSTICAS DE LA PROFUNDIDAD ANESTÉSICA MEDIDA MEDIANTE ELECTROENCEFALOGRAMA PROCESADO EN PACIENTES SOMETIDOS A CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA ELECTIVA EN EL HOSPITAL DE PEDIATRÍA "DR. SILVESTRE FRENK FREUND"

HOJA DE RECOLECCION DE DATOS				
FOLIO DEL PACIENTE:			FECHA:	
EDAD:			PESO:	
GENERO:	FEMENINO		MASCULINO	
CALIFICACIÓN DE ASA	I	II	III	
VARIABLE	T0	T1	T2	T3
	BASAL	INDUCCIÓN ANESTÉSICA	1HR DESDE EL INICIO DEL PROCEDIMIENTO	2HR DESDE EL INICIO DEL PROCEDIMIENTO
VALOR PSI				
SEFL/SEFR				
TAM				
FC				
SATO2				
ETCO2				
TEMP				
CP FENTANILO				
CP PROPOFOL				
SEVOFLUORANO				
CAM				

ANEXO 6: CONSENTIMIENTO INFORMADO

Carta de consentimiento informado para participación en protocolos de investigación en salud (Padres o representantes legales en menores de edad o personas con discapacidad)

Ciudad de México, _____

Lugar y fecha

No. de registro institucional _____

Título del protocolo:

CARACTERÍSTICAS DE LA PROFUNDIDAD ANESTÉSICA MEDIDA MEDIANTE ELECTROENCEFALOGRAMA PROCESADO EN PACIENTES SOMETIDOS A CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA ELECTIVA EN EL HOSPITAL DE PEDIATRÍA "DR. SILVESTRE FRENK FREUND"

Justificación y objetivo de la investigación:

Le estamos invitando a participar en el presente estudio tomando en cuenta que su hijo(a) será operado(a) y requerirá de anestesia para dormirlo durante el procedimiento (anestesia general). Así como le estamos invitando a usted a participar en el estudio también se le está invitando a participar a otros padres/tutores legales que como su hijo(a) también serán operados y recibirán anestesia como previamente se comentó. El objetivo de la presente investigación es conocer qué tan profundo se duerme su hijo(a) durante la anestesia y qué tanto medicamento requirió durante el estudio. A este respecto queremos comentar que en la actualidad existen algunos aparatos que miden qué tan dormidos se encuentran los pacientes que tienen anestesia para alguna cirugía y ayudan a que el médico pueda ajustar la dosis de los medicamentos usados en la anestesia.

Procedimientos y duración de la investigación

El procedimiento de la investigación consiste en colocar una diadema en la frente del paciente, la cual va conectada a una pantalla en donde el médico o médica anestesióloga encargada de dar la anestesia a su hijo(a) podrá verla en todo momento durante la cirugía. Mientras esto pasa, una residente de anestesiología estará anotando en distintos momentos de la cirugía los datos que se vean en el monitor como parte de este estudio.

Riesgos y molestias:

El procedimiento no conlleva ningún riesgo adicional a los que su(s) médico(s) ya le comentaron sobre la cirugía y la anestesia para atender el problema de salud de su hijo(a). Un médico anestesiólogo estará al pendiente de las necesidades que requiera su hijo(a) en todo momento durante la cirugía. Una molestia que puede tener su hijo(a) es una ligera presión sobre su frente por la colocación de la diadema la cual tiene pegamentos que también pueden molestar a la colocación o al retiro de la misma.

Beneficios que recibirá al participar en la investigación:

Si bien, ni su hijo(a) ni usted(es) recibirán un beneficio directo por la presente investigación, el estudio nos permitirá conocer más acerca del comportamiento del cerebro de los niños durante una cirugía con anestesia general como en el caso de su hijo(a).

Participación o retiro:

Queremos hacer de su conocimiento, el compromiso que tenemos de dar respuesta a cualquier pregunta y aclaración a cualquier duda acerca de los procedimientos, riesgos, beneficios y otros asuntos relacionados con la investigación. Su participación en este estudio es completamente voluntaria y sin costo. Si usted decide que su hijo(a) no participe en este estudio, de cualquier manera, su hijo(a) recibirá la atención médica que suele recibir en esta Institución Hospitalaria. Esto no afectará su relación con este hospital y tampoco afectará su derecho a obtener los servicios de salud u otros servicios a los que tiene derecho.

Si en un principio desea participar y posteriormente cambia de opinión, puede abandonar el estudio en cualquier momento y puede también solicitar que los datos no se utilicen en la investigación. El abandonar el estudio en el momento que quiera no modificará de ninguna manera los beneficios que usted y su paciente como parte de esta Institución, solo tendría que ponerse en contacto con los investigadores principales a los teléfonos o en la dirección que aparecen al final de este documento.

Privacidad y confidencialidad: Cabe mencionar que no revelaremos ningún dato que pudiera identificar la identidad de usted o de su hijo(a) ni a sus parientes ni a ninguna otra persona.

En caso de dudas o aclaraciones relacionadas con la investigación podrá dirigirse a:

Investigadora o Investigador Responsable: ___ Dra. Marisa Josefina Guerrero Pesina
Teléfono y horario: 5556276900 extensión 22385 en un horario de sábados y domingos de 7:30 a 23:00 horas.

En caso de dudas o aclaraciones sobre sus derechos como participante podrá dirigirse a:
Comité de Ética en Investigación Local al correo: eticainvest.hpcmnsxxi@gmail.com

Declaración de consentimiento:

<input type="checkbox"/>	Acepto que a mi familiar o representado se le tomen los datos sólo para este estudio
--------------------------	--

Se conservarán los datos muestras hasta por 5 años tras lo cual se destruirán.

Nombre y firma del padre, madre o representante legal

Nombre y firma de quien obtiene el consentimiento

Nombre y firma del testigo 1

Nombre y firma del testigo 2



Carta de asentimiento en menores de edad (8 a 17 años)

Ciudad de México, a

Lugar y fecha

No. de registro institucional _____

Título del protocolo:

CARACTERÍSTICAS DE LA PROFUNDIDAD ANESTÉSICA MEDIDA MEDIANTE ELECTROENCEFALOGRAMA PROCESADO EN PACIENTES SOMETIDOS A CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA ELECTIVA EN EL HOSPITAL DE PEDIATRÍA "DR. SILVESTRE FRENK FREUND"

Objetivo de la investigación y procedimientos

El objetivo de la presente investigación es conocer qué tan profundo me duermo durante la anestesia y qué tanto medicamento usan para dormirme.

Hola, mi nombre es _____ y trabajo en el Instituto Mexicano del Seguro Social. Actualmente, estamos realizando un estudio para conocer qué tan dormido estarás en la operación que te van a hacer y para ello queremos pedirte que nos apoyes.

Tu participación en el estudio consistiría en:

Dejar que te coloquemos una diadema con pegamento en tu frente antes de comience tu operación que está conectada a una pantalla. La diadema se quedará durante toda tu operación y anotaremos en una hoja los datos de la pantalla. Cuando termine tu operación te quitaremos la diadema de tu frente.

Tu participación en el estudio es voluntaria, es decir, aun cuando tu papá o mamá hayan dicho que puedes participar, si tú no quieres hacerlo puedes decir que no. Es tu decisión si participas o no en el estudio. También es importante que sepas que, si en un momento dado ya no quieres continuar en el estudio, no habrá ningún problema, o si no quieres responder a alguna pregunta en particular, tampoco habrá problema.

Esta información será confidencial. Esto quiere decir que no diremos a nadie tus respuestas o resultados sin que tú lo autorices, sólo lo sabrán las personas que forman parte del equipo de este estudio.

Si aceptas participar, te pido que por favor pongas una **(x)** en el cuadrado de abajo que dice "Sí quiero participar" y escribe tu nombre. Si **no** quieres participar, déjalo en blanco y no escribas tu nombre.

Si quiero participar

Nombre: _____

Nombre y firma de la persona que obtiene el asentimiento: _____

ANEXO 7. PROCEDIMIENTO DE COLOCACIÓN DE LOS ELECTRODOS PARA MONITORIZACIÓN DE LA PROFUNDIDAD ANESTÉSICA.

El monitor de profundidad Anestésica tipo SedLine® consiste en una diadema que consta de 5 electrodos de actividad eléctrica, y uno extra como polo a tierra, con almohadillas adhesivas que se colocan en la frente del paciente, con un extremo conectado al cable que manda los datos obtenidos al monitor tipo Massimo que muestra los resultados analizados en forma de Psi, DSA y espectrograma.



Masimo (NASDAQ: MASI). (2023). *Monitorización de la función cerebral, Datos más completos para una imagen más completa.* © 2023 Masimo. Todos Los Derechos Reservados. <https://www.masimo.es/technology/brain-monitoring/sedation/>