



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

1 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42



**ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA CORTICAL  
DIRECTA CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS  
MULTICONTACTO PARA  
MONITORIZACIÓN INTRAOPERATORIA DE  
POTENCIALES EVOCADOS MOTORES DE  
MIEMBROS INFERIORES**

**Autor: Liberto Brage Martín**

Director: Dr. D. Víctor M. García Marín

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

2 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

3 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

**TITULO DE LA TESIS DOCTORAL**

**ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA CORTICAL DIRECTA CON ELECTRODOS  
CILÍNDRICOS MULTICONTACTO PARA MONITORIZACIÓN  
INTRAOPERATORIA DE POTENCIALES EVOCADOS MOTORES DE  
MIEMBROS INFERIORES**

**AUTOR**

LIBERTO BRAGE MARTÍN

**LUGAR DE PRESENTACIÓN**

UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

**LUGAR DE INVESTIGACIÓN**

HOSPITAL UNIVERSITARIO DE CANARIAS, TENERIFE

**DIRECTOR**

D. VÍCTOR M. GARCÍA MARÍN

**TITULO A QUE OPTA**

DOCTOR EN MEDICINA

**AÑO**

2020



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS



PROGRAMA  
**DOCTORADO**  
CIENCIAS DE LA SALUD  
INSTITUTO AMICA, Mod. 19-3-2014

**Dr. D. Víctor Manuel García Marín**, Doctor en Medicina y Cirugía Profesor Titular del Departamento de Cirugía, Oftalmología y Otorrinolaringología de Facultad de Medicina de la Universidad de La Laguna,

**CERTIFICA:**

Que la memoria titulada "**Estimulación Eléctrica Cortical Directa Con Electrodo Cilíndrico Multicontacto Para Monitorización Intraoperatoria De Potenciales Evocados Motores De Miembros Inferiores**" ha sido realizada por el Licenciado en Medicina Don Liberto Brage Martín, bajo mi dirección, en las dependencias del Servicio de Neurocirugía del Hospital Universitario de Canarias durante los años 2017-2020.

**AUTORIZA:**

La defensa del presente Proyecto de Investigación al reunir los requisitos de calidad necesarios para constituir la Tesis Doctoral que el citado Licenciado presenta para aspirar al grado de Doctor por la Universidad de La Laguna en el Programa de Doctorado en Ciencias de la Salud (DCS) integrado en la Línea de Investigación Biomédica Clínica.

Y para que así conste y surta a los efectos oportunos, se firma el presente documento.

En San Cristóbal de La Laguna, a 13 de Septiembre de 2020.

Dr. D. Víctor Manuel García Marín

6

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Víctor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

6 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

7 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

**A Sonia y Rafael.**

**A mis padres y hermanos.**

8

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

8 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

## AGRADECIMIENTOS

10

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

10 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

Al Dr. Víctor García Marín, por sus acertadas orientaciones y por su inmensurable labor que ha permitido la realización de esta tesis doctoral.

A Pedro Pérez Lorensu, por su fundamental aportación en el campo de la neurofisiología, y por su paciencia en la elaboración de este trabajo.

A mis compañeros Julio Plata y Ángel Saponaro, por su gran ayuda en la elaboración y análisis de resultados de este estudio, especialmente por su aportación para conseguir su publicación internacional.

A Luis Pérez Orribo, por haber estado presente durante todo el desarrollo de esta tesis.

A todos mis compañeros del Servicio de Neurocirugía del Hospital Universitario de Canarias, por su generosa colaboración en este proyecto.

A todos los pacientes que han participado en este estudio, porque sin su desinteresada colaboración este trabajo no hubiera posible.

Gracias

12

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

12 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

13 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

14

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

14 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

15 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

**2. ÍNDICE DE CONTENIDOS**

<b>1. AGRADECIMIENTOS</b> .....	10
<b>2. ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	14
<b>3. ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICAS</b> .....	19
<b>4. ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	23
<b>5. ABREVIATURAS</b> .....	28
<b>6. INTRODUCCIÓN</b> .....	33
A. Resumen/Summary .....	35
B. Definición de Monitorización Neurofisiológica Intraoperatoria y Evidencia Clínica Actual .....	42
C. Desarrollo Histórico de la Monitorización Neurofisiológica Intraoperatoria .....	47
D. Potenciales Evocados Motores .....	66
E. Técnicas de Estimulación Eléctrica Cerebral .....	78
F. Potenciales Evocados Motores de los Miembros Inferiores .....	89
<b>7. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO</b> .....	96
<b>8. HIPÓTESIS DE TRABAJO</b> .....	102
<b>9. OBJETIVOS</b> .....	106
<b>10. MATERIAL Y MÉTODO</b> .....	110
A. Diseño del Estudio .....	112
B. Sujetos del Estudio .....	112
C. Criterios de Inclusión .....	113
D. Variables del Estudio .....	114
E. Recolección de Datos .....	115

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

F. Análisis Estadístico .....	116
G. Pacientes .....	116
H. Anestesia .....	122
I. Registro Neurofisiológico Intraoperatorio .....	122
J. Electrodo Subdurales .....	125
K. Posicionamiento Electrodo .....	128
L. Warning .....	131
M. Aspectos Éticos .....	131
<b>11. RESULTADOS .....</b>	<b>135</b>
• PRESENTACIÓN DE CASOS CLÍNICOS ILUSTRATIVOS .....	140
<b>12. DISCUSIÓN .....</b>	<b>146</b>
<b>13. CONCLUSIONES/CONCLUSIONS .....</b>	<b>166</b>
<b>14. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>173</b>

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

18 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

# ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICAS

19

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

19 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

20 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

### 3. ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICAS

**Tabla 1.** Características clínicas pacientes de la serie ..... 117

**Tabla 2.** Patologías quirúrgicas pacientes de la serie ..... 118

**Tabla 3.** Intensidades de estímulo electrodo cilíndrico ..... 138

**Gráfica 1.** Proporción de lesiones en cada lóbulo cerebral ..... 119

**Gráfica 2.** Distribución de las lesiones en el lóbulo frontal ..... 120

**Gráfica 3.** Proporción de pacientes con tratamiento antiepiléptico ..... 121

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

22 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

## ÍNDICE DE FIGURAS

23

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

23 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

24 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

**4. ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Ilustración de la teoría ventricular .....	48
<b>Figura 2.</b> Ilustración del concepto de la frenología .....	50
<b>Figura 3.</b> Fotografía del cerebro de Louis Victor Leborgne .....	51
<b>Figura 4.</b> Ilustración de las áreas de Brodmann .....	53
<b>Figura 5.</b> Dibujo de córtex auditivo de David Ferrier .....	54
<b>Figura 6.</b> Boceto de mapping cerebral de Harvey Cushing .....	56
<b>Figura 7.</b> Mapping cortex motor de Penfield y Boldrey .....	56
<b>Figura 8.</b> Dr. Wilder Graves Penfield .....	59
<b>Figura 9.</b> Potencial evocado motor de Merton y Morton .....	64
<b>Figura 10.</b> Micrografía citoarquitectónica de Brodmann .....	68
<b>Figura 11.</b> Homúnculo de Penfield .....	70
<b>Figura 12.</b> Ilustración vías corticoespinales de Frank H. Netter .....	72
<b>Figura 13.</b> Gráfico de trenes de impulsos de Taniguchi .....	75
<b>Figura 14.</b> Dibujo del strip subdural diseñado por Wyler .....	80
<b>Figura 15.</b> Ilustración anatómica de la arteria cerebral anterior .....	89
<b>Figura 16.</b> Fotografía cisura interhemisférica .....	90
<b>Figura 17.</b> Electrodo dual-sided .....	92
<b>Figura 18.</b> Grid subdural de Maruta .....	95
<b>Figura 19.</b> Montaje para estimulación eléctrica transcraneal .....	123
<b>Figura 20.</b> Diagrama de los electrodos empleados en el estudio .....	126
<b>Figura 21.</b> Fotografía intraoperatoria de ambos electrodos .....	127
<b>Figura 22.</b> Fotografía intraoperatoria electrodos posicionados .....	129

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

<b>Figura 23.</b> Pruebas de imagen pre- y postquirúrgicas .....	139
<b>Figura 24.</b> Imagen de inversión de fase (Paciente 4) .....	141
<b>Figura 25.</b> Fotografía intraoperatoria (Paciente 4) .....	142
<b>Figura 26.</b> Angiografía, clipaje de MAV y MNIO (Paciente 30) .....	144
<b>Figura 27.</b> Ecuación de Shannon .....	158
<b>Figura 28.</b> Gráfica de parámetros de densidad de carga .....	159
<b>Figura 29.</b> Interfaz programa de MNIO (Paciente 30) .....	162
<b>Figura 30.</b> RM e imagen intraoperatoria (Paciente 29) .....	163

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

27 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

## ABREVIATURAS

28

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

28 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

29 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

## 5. ABREVIATURAS

**MNIO:** Monitorización Neurofisiológica Intraoperatoria

**PESS:** Potenciales Evocados Somatosensoriales

**PEM:** Potenciales Evocados Motores

**EET:** Estimulación Eléctrica Transcraneal

**ECD:** Estimulación Cortical Directa

**EMG:** Electromiograma

**ISI:** Intervalo interestímulo

**TOF:** Train of four

**TIVA:** Anestesia total intravenosa

**ms:** milisegundos

**mA:** miliamperios

**Hz:** Herzios

**µC:** Microculombios

**M1:** Corteza motora primaria

**PM:** Corteza premotora

**AMS:** Área motora suplementaria

**EET:** Estimulación eléctrica transcraneal

**ECD:** Estimulación cortical directa

**ECoG:** Electroencefalografía

**ACA:** Arteria cerebral anterior

**ACM:** Arteria cerebral media

**SEEG:** Estéreo-encefalografía

**APB:** Abductor pollicis brevis

**TA:** Tibial anterior

**AH:** Abductor hallucis

**FAEs:** Fármacos antiepilépticos

**HUC:** Hospital universitario de Canarias

**RM:** Resonancia magnética

30

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

30 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

30 / 195

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

**TAC:** Tomografía axial computarizada

31

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

31 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

32 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

# INTRODUCCIÓN

33

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

33 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

34 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

## 6. INTRODUCCIÓN

### A. Resumen

En determinadas cirugías cerebrales conocer con exactitud dónde se localizan las áreas elocuentes (zonas con alta expresividad funcional) y realizar la monitorización neurofisiológica intraoperatoria (MNIO) de las mismas puede ser de vital importancia para evitar daños neurológicos irreversibles en el paciente. Existe evidencia científica de que si un paciente desarrolla un nuevo déficit neurológico tras haber sido sometido a cirugía cerebral, además de tener un impacto negativo sobre la calidad de vida, su supervivencia global también podría verse afectada.

En este sentido, la MNIO se ha convertido en las últimas décadas en una herramienta esencial en neurocirugía, aportando información precisa acerca de la integridad de las funciones neurológicas mientras el procedimiento quirúrgico se está llevando a cabo. El fundamento básico que justifica su razón de ser es la detección precoz de cualquier alteración y/o daño funcional en el sistema nervioso, permitiendo cambios en la actitud quirúrgica o modificaciones en los parámetros anestésicos para así evitar un déficit neurológico permanente. La información proporcionada por las técnicas de MNIO sobre la localización de las funciones cerebrales y medulares (mapping) permiten al cirujano escoger la mejor vía de abordaje quirúrgico posible con el menor riesgo para el paciente. Por tanto, la utilización de la MNIO está íntimamente ligada a la premisa

35

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

35 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

hipocrática "*primum non nocere*" que da fundamento a nuestra práctica clínica diaria.

En relación a la monitorización intraoperatoria cerebral, dejando a un lado las técnicas de mapping, el registro neurofisiológico continuo más completo es aquel que incluye tanto a los potenciales evocados somatosensoriales (PES) como a los potenciales evocados motores (PEM) obteniéndose control de las funciones sensitiva y motora, respectivamente. Conseguir un registro intraoperatorio preciso de PEM centra los esfuerzos del equipo neuroquirúrgico y neurofisiológico, tras haberse demostrado que estos detectan el déficit motor postquirúrgico con mayor sensibilidad que los PES.

Los PEM que se obtienen en el contexto de la neuromonitorización continua, pueden ser generados tanto a través de la estimulación eléctrica transcraneal (EET) como mediante estimulación cortical directa (ECD). Mientras que para la primera se sitúan unos electrodos en el cuero cabelludo, para llevar a cabo la ECD se emplea una tira de electrodos de silicona, denominada habitualmente con el término inglés "strip", que ese desliza directamente sobre la corteza cerebral. Ambas técnicas neurofisiológicas se realizan de forma habitual en los servicios de neurocirugía de todo el mundo.

Siempre que se tiene acceso a la superficie cerebral se prefiere realizar ECD puesto que, a diferencia de la EET, no genera grandes movimientos en el paciente durante la cirugía y la probabilidad de generar "falsos negativos" son menores. Además, la ECD utiliza mucha menos intensidad de estímulo siendo el registro más focal y preciso.

36

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

36 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

Obtener PEM mediante ECD desde el área del miembro superior del cortex motor primario (M1) no reviste dificultad puesto que la representación cortical del mismo se encuentra en la convexidad lateral del cerebro, donde el strip subdural de electrodos accede con facilidad. Sin embargo, la representación de los miembros inferiores en M1 se sitúa medial y profunda entre ambos hemisferios, frecuentemente franqueada por numerosas venas puente que drenan al seno longitudinal superior, imposibilitando un acceso fácil y seguro al strip subdural (ancho y plano).

En la literatura científica se aborda esta cuestión con difícil solución, documentándose una baja tasa de éxito de monitorización de los miembros inferiores con el strip subdural, sin haberse descrito una alternativa que permita la ECD de la corteza interhemisférica.

La idea inicial de esta tesis surgió durante la resección de un tumor de estirpe glial y localización frontal, adyacente a la línea media. Al inicio del procedimiento deslizamos un electrodo cilíndrico y flexible en el espacio interhemisférico, permitiéndonos estimular directamente la corteza motora medial y obtener un registro continuo de PEM del miembro inferior contralateral durante todo el procedimiento. Este tipo de electrodo se utiliza habitualmente en pacientes que sufren epilepsia refractaria a tratamiento médico, empleándose tanto para registro de la actividad eléctrica espontánea como para generar estímulos (mapping/termocoagulación), ya sea mediante su introducción en el parénquima cerebral como en el espacio subdural.

37

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

37 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

A partir de ese primer caso, el electrodo ha sido utilizado en el Servicio de Neurocirugía del Hospital Universitario de Canarias en cirugías donde se consideró que la monitorización de los miembros inferiores aportaba seguridad al procedimiento, no obteniéndose con el strip subdural.

Con el convencimiento de su utilidad, decidimos analizar nuestra serie de pacientes y así poder documentar nuestra experiencia de uso con el electrodo y validar su aplicación en este contexto. Únicamente de esta manera se podría comunicar debidamente a la comunidad científica una herramienta neurofisiológica novedosa que aporta una solución práctica a un problema documentado en la literatura.

38

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

38 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

**A. Summary**

In certain brain surgeries, to know exactly where the eloquent areas are located and performing intraoperative neurophysiological monitoring (MNIO) would may be of vital importance to avoid irreversible neurological damage to the patient (1, 2). There is scientific evidence that if a patient develops a new neurological deficit after underwent brain surgery, in addition to having a negative impact on quality of life, his overall survival could also be affected (3-6).

In this sense, the MNIO has become an essential tool in neurosurgery in recent decades, providing accurate information about the integrity of neurological functions while the surgical procedure is being carried out. The basic foundation that justifies its *raison d'être* is the early detection of any alteration and/or functional damage in the nervous system, allowing changes in surgical attitude or anesthesia's parameters to avoid a permanent neurological deficit (7). The information provided by MNIO techniques on the location of brain and spinal functions (mapping) allows the surgeon to choose the best possible surgical approach with the least risk to the patient (8). Therefore, the use of the MNIO is intimately linked to the Hippocratic premise "*primum non nocere*" that gives foundation to our daily clinical practice.

The most complete neurophysiological register includes both somatosensory evoked potentials (SEP) and motor evoked potentials (MEP) to monitor sensory and motor functions, respectively. Getting an accurate record of evoked motor-type potentials focuses the efforts of the neurosurgical and neurophysiologi-

39

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

39 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

cal team, since they have been shown to detect postoperative motor damage with greater sensitivity than PESS (9-12).

MEPs that are recorded in the context of continuous monitoring can be evoked either by transcranial electrical stimulation (TES) or by direct cortical stimulation (DCS). While for the former electrodes are placed on the scalp, a strip of silicone electrodes is used to perform the DCS, which slides directly over the cerebral cortex in the subdural space once the skull and meninges are opened. Both neurophysiological techniques are performed daily in neurosurgery services around the world.

DCS is preferred whenever access to the brain surface is available, its main advantages with respect to TES are that it does not generate movements in the patient during surgery while the chances of generating "false negatives" are lower (13-16). DCS uses much less stimulus intensity, with a most focal stimulated brain area and theoretically more accurate recording (17, 18).

Generating evoked potentials by DCS of the patient's face/hand area does not usually present great difficulties since the cortical representation of both regions is found in the lateral convexity of the brain (19), where the subdural strip easily accesses. However, the area of M1 where lower limbs are represented is located medially and deeply between both hemispheres (19), where the wide and flat electrode strip is not able to access easily and safely.

In the scientific literature this issue is reported, documenting a low success rate of monitoring of the lower limbs with the subdural strip. For this reason, in order to be able to monitor the patient's lower limbs during the surgi-

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

cal procedures that take place at the supratentorial level, it is recommended to use TES with electrodes in the scalp, while performing DCS of the hand area with the subdural strip (9, 20-22).

The initial idea of this study arose during the resection of a glial tumor adjacent to the medial motor cortex. At the beginning of the surgery, we slide a flexible and cylindrical electrode into the subdural space, usually used in epilepsy surgeries, in order to stimulate the interhemispheric cortex and thus achieve a continuous recording of lower extremities MEPs. This type of electrode is universally used both to collect electrical stimuli and to generate them (mapping, thermocoagulation ...), either by its introduction in the cerebral parenchyma or in the subdural space (23-31).

From that moment on, the electrode has been used in the Neurosurgery Department of the Hospital Universitario de Canarias as an alternative to the subdural strip, in those surgeries where it has been considered beneficial for the patient to monitoring the functional integrity of the lower limbs.

With the conviction of its usefulness, we decided to analyze our series of patients and thus be able to document our experience of use with the electrode and validate its application in this context. Only in this way could it properly communicate to the scientific community a novel neurophysiological tool that provides a practical solution to a problem documented in the literature.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

## B. Definición de Monitorización Neurofisiológica Intraoperatoria y Evidencia Clínica Actual.

Podríamos definir a la monitorización neurofisiológica intraoperatoria (MNIO) como la utilización de diferentes técnicas neurofisiológicas que permiten evaluar la integridad funcional del sistema nervioso durante los procedimientos quirúrgicos en los que puede generarse un daño sobre el mismo. Se divide fundamentalmente en dos áreas de actuación: 1) detección precoz de alteraciones en la función neurológica, con el objetivo de posibilitar cambios en la actitud quirúrgica que logren evitar daños neurológicos irreversibles; y 2) localización (mapping) de estructuras nerviosas críticas que deben ser protegidas durante el procedimiento quirúrgico (32-36).

La MNIO es utilizada ampliamente en la actualidad en cirugías que tienen lugar sobre el raquis, cerebro, nervios periféricos/craneales, carótidas... en definitiva, en una gran variedad de procedimientos en los que existe riesgo potencial de producir daño neurológico (37).

El tratamiento quirúrgico de los tumores cerebrales tiene una consideración especial dentro del grupo de procedimientos que se benefician del empleo de las técnicas de MNIO, puesto que existe un compromiso inevitable entre alcanzar la mayor exéresis tumoral con la menor extracción de tejido nervioso sano posible. A este respecto, es importante el papel que desempeña la MNIO para guiar al neurocirujano mientras realiza una resección tumoral agresiva minimizando los nuevos déficits neurológicos. Varios estudios demuestran que las secuelas funcionales son menores empleando estas técnicas

42

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

42 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

neurofisiológicas, al mismo tiempo que el grado de resección tumoral que se alcanza también es mayor (1, 2).

El déficit postquirúrgico permanente se ha relacionado directamente con una menor supervivencia global en pacientes intervenidos de lesiones cerebrales malignas, además de que conlleva un impacto negativo en la calidad de vida de los mismos (3, 5). Por otro lado, en la cirugía vascular aneurismática también se ha constatado el valor de la MNIO para detectar cambios en la función neurológica y prever déficits neurológicos postquirúrgicos, por ejemplo durante el clipaje temporal del aneurisma (16, 38-44).

Un creciente número de publicaciones científicas respaldan la utilidad de la neurofisiología intraoperatoria, aumentando exponencialmente su utilización en centros hospitalarios de todo el mundo. Sin embargo, no existen ensayos clínicos controlados y aleatorizados que evalúen la eficacia y la seguridad de la monitorización neurofisiológica intraoperatoria (45). Resulta interesante analizar sucintamente cuáles pueden ser las principales causas que motivan la falta de ensayos de este tipo.

Debido a que la MNIO se basa en una razón fisiopatológica y probabilística muy convincente, algunos científicos argumentan que no se requiere evidencia adicional y que “el experimento humano sería desmesurado” (46). Para muchos especialistas participar en un ensayo clínico aleatorizando pacientes a un brazo de tratamiento quirúrgico que incluye control neurofisiológico y a otro brazo de tratamiento que no lo incluye, es simplemente considerado como algo descabellado y fuera de toda ética.

43

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

43 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

Otros autores sostienen, sin embargo, que si bien la evidencia actual es lo suficientemente robusta como para justificar el uso de la MNIO durante determinados tipos de cirugía, raquídea y vascular, fundamentalmente, se necesita evidencia adicional para validar resultados favorables derivados de su uso en otras patologías (47, 48). Por ejemplo, durante una cirugía de aneurisma cerebral la secuencia temporal consistente en clipaje del aneurisma, caída de potenciales evocados, y su posterior recuperación tras recolocación del clip definitivo y/o retirada del clip temporal, hace que plantear un ensayo aleatorizado en estos pacientes pueda considerarse cuanto menos innecesario. Situaciones clínicas muy similares podemos encontrar en cirugías que se realizan sobre el raquis, donde una pérdida catastrófica de la señal se puede provocar y/o recuperar con la corrección de la deformidad (49, 50) o con modificaciones en la postura del paciente (51).

Además de lo anteriormente expuesto, analizar los resultados clínicos de la MNIO en cada caso particular y/o llevar a cabo un ensayo clínico aleatorizado a mayor escala no resulta nada sencillo. Son muchas las variables a tener en cuenta: tipos de intervención y de patología quirúrgica, interpretación de los cambios del registro por parte del neurofisiólogo, historia natural de los déficits neurológicos postoperatorios (recuperación espontánea...), modificación en la actitud quirúrgica por parte del cirujano con la información que le es proporcionada, cuestiones de aspecto ético... (52). Así, por ejemplo, un estudio encontró que los cirujanos modificaron su actitud quirúrgica en

44

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

44 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

aproximadamente el 50% de las alertas notificadas por el neurofisiólogo y que fueron confirmadas como “verdaderas positivas” (47).

Los defensores de la medicina basada en la evidencia se niegan a aceptar cualquier certeza sobre los beneficios de la MNIO que no provenga de ensayos clínicos aleatorizados (53). Se pueden aportar muchos argumentos a favor de la necesidad de ensayos controlados y aleatorizados, de hecho algunos tratamientos y técnicas diagnósticas o de monitorización aparentemente beneficiosas han resultado inútiles cuando han sido sometidas a ensayos clínicos (54, 55). Por ejemplo, cuando se realizó un metaanálisis acerca de la efectividad y seguridad del registro cardiotocográfico continuo como método de monitorización del bienestar fetal durante el trabajo de parto, no se detectaron diferencias frente al registro intermitente.

Otro argumento a favor de la MNIO proviene de estudios que evalúan su costo-efectividad. En estos trabajos se considera el gasto económico que supone llevar a cabo las técnicas de monitorización y el que se deriva de que un paciente desarrolle un daño neurológico tras la cirugía, así como el ahorro económico que supone evitar estos déficits. De esta manera, dos estudios que incluyeron a pacientes intervenidos de cirugía raquídea, demuestran cómo el coste económico derivado de un daño neurológico, ya sea menor o catastrófico, supera el de los gastos directos de la neuromonitorización intraoperatoria (56, 57).

Por contra, no podemos ignorar que la MNIO no está exenta de riesgos para el paciente, aunque estos se consideren como menores. Es el caso de la estimulación eléctrica transcraneal la cual se relaciona principalmente con

45

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

45 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

lesiones dentales y/o linguales (58). Estas pueden evitarse en gran medida disponiendo un espaciador entre ambos maxilares que amortigüe el movimiento brusco que se produce tras el estímulo. Otros riesgos también descritos, potencialmente más graves a la vez que improbables, incluyen: crisis epilépticas, quemaduras, arritmia cardíaca y lesiones relacionadas con los movimientos bruscos del paciente (58). El empleo de la MNIO también puede favorecer, indirectamente, interrupciones en el inicio o progreso de la cirugía, o incluso alterar de forma significativa el resultado del procedimiento por “falsos positivos” o “falsos negativos” (59, 60).

En resumen, existen dificultades prácticas que impiden realizar ensayos clínicos aleatorizados que permitan evaluar de manera decisiva la efectividad y seguridad de la MNIO. No obstante, su empleo entre los centros hospitalarios ha crecido exponencialmente, al igual que el número de publicaciones que incluyen metaanálisis respaldan su uso. Por ello, parece razonable y justificado que se recurra a la neuromonitorización intraoperatoria cuando exista un riesgo quirúrgico significativo para el paciente, siempre considerando previamente que este se pueda evitar y/o atenuar con las técnicas neurofisiológicas disponibles en cada caso.

46

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

46 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

### C. Desarrollo Histórico de la Monitorización Neurofisiológica Intraoperatoria.

El inicio de la MNIO se cimienta en la localización de las funciones cerebrales, de forma que, si echamos la vista atrás las hipótesis iniciales en esta materia pueden llegar a resultar sorprendentes desde nuestra óptica actual. Las diferentes regiones funcionales del cerebro fueron identificadas gracias a la meticulosa labor de excelentes científicos, principalmente neurocirujanos y neurólogos, pioneros tanto en el arte de la observación clínica como en el de la experimentación. Sus valiosas aportaciones nos han permitido alcanzar la era de la MNIO, una era en la que la cirugía cerebral ya no se entiende sin la disponibilidad de las técnicas de neurofisiología intraoperatoria.

La primera creencia de la que se tiene conocimiento con respecto a la ubicación de las funciones cerebrales corresponde al gran polímata Aristóteles, quien planteó la teoría cardiocentrista (384-322 AC) propugnando que en el corazón residían la razón y el alma. Posteriormente, el médico Alcmeón de Crotona (siglo VI AC) fue el primero en dictaminar que las funciones psíquicas residen en el cerebro, y poco a poco la centralidad del cerebro fue asumida por grandes pensadores como Pitágoras, Demócrito y Platón. Sin embargo, serían Hipócrates (460-370 AC), y más tarde Galeno (129-216 DC), quienes defenderían con determinación que el cuerpo humano es un sistema jerárquicamente organizado bajo el dominio del cerebro (61, 62).

47

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

47 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

### ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

Avanzando en la línea del tiempo, Nemesio (390 DC), obispo de Emesa y autor del libro "Sobre la naturaleza humana", propuso la ubicación de las funciones cerebrales en los ventrículos cerebrales describiendo un esquema que se aceptaría durante siglos y que sería conocido como teoría ventricular (Figura 1).



**Figura 1.** Ilustración de la teoría ventricular. Según Nemesio las funciones cerebrales superiores como el juicio, la imaginación y la memoria se situaban en el sistema ventricular. Su teoría fue aceptada hasta entrada la Edad Media. (Reisch G: *Margarita Philosophica cum additionibus nouis. Jo. Schottus, 1508*).

48

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

48 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

Según su doctrina, los ventrículos laterales se encargarían de la recepción de información desde los órganos de los sentidos y de la imaginación; el tercer ventrículo se ocuparía de la razón y el pensamiento; mientras que el cuarto ventrículo se ocuparía de la memoria. Esta teoría sería aceptada hasta la Edad Media, donde el enciclopedista alemán, Gregor Reisch (1467-1525), la reproduce en su obra (63).

Mucho más reciente, en el siglo XIX, el neuroanatomista y fisiólogo alemán Franz Gall, fundó la organología, término que después fue reemplazado por el de frenología (ciencia de la mente), en la que se afirmaba que se podían conocer las facultades mentales de una persona por la forma de su cráneo debido a que estas se ubicaban en lugares concretos de la corteza (Figura 2). En cuanto al concepto de la frenología, se suponía que el cerebro no era una unidad homogénea sino más bien un agregado de órganos mentales con funciones específicas y organizados topográficamente (64). Esta teoría la desarrolló después de haber evaluado las rasgos de la personalidad de un gran número de sujetos, realizó una lista de 27 facultades mentales de las cuales 19 eran compartidas con los animales, y solo 8 eran propias del ser humano. Si bien su teoría era completamente errónea, la idea de que la función era localizable en regiones específicas de la corteza cerebral no lo era.

Acercándonos cada vez más a nuestros días, los médicos franceses Paul Broca (1824-1880) y Jules Dejerine (1849-1917), además del alemán Carl Wernicke, procedieron al estudio clínico de pacientes con déficits neurológicos. Sus meticulosas exploraciones clínicas y estudios anatomopatológicos les

49

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

49 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

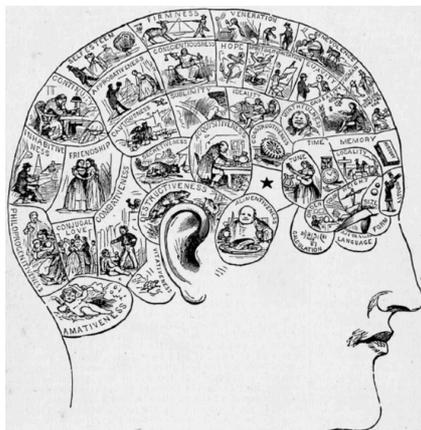
Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

49 / 195

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**



**Figura 2.** Ilustración del concepto de la frenología. En 1796, Franz Gall propone el concepto de la frenología, según el cual cada facultad mental radica en una zona precisa del cerebro que se corresponde con un determinado relieve del cráneo.. (De Puy WH: *The People's Cyclopedia of Universal Knowledge*. New York: Phillips & Hunt, 1883).

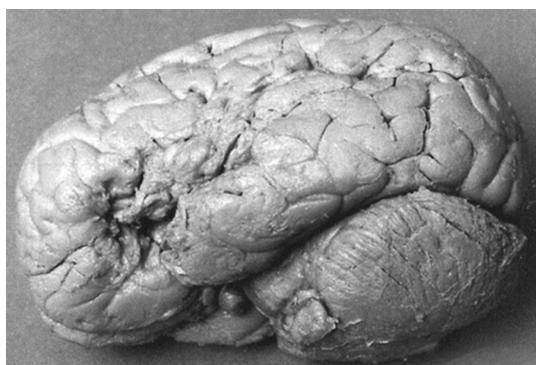
permitieron desarrollar la teoría de la conexión cortical, con especial contribución al entendimiento actual de las áreas del lenguaje (65, 66). En 1861, la revista científica francesa "Bulletin de la Societé Anatomique" publicaría un artículo que relacionaría la función cerebral del lenguaje con una localización anatómica definida (67). Paul Broca describió con detalle en este trabajo el caso clínico de un paciente de mediana edad, llamado Louis Victor Leborgne, que en los últimos 20 años de su vida habría presentado una dificultad para hablar muy

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

### ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

limitante siendo capaz únicamente de pronunciar la sílaba "Tan". Una vez fallecido, su autopsia revelaría una lesión de aspecto isquémico cortico-subcortical en el lóbulo frontal izquierdo (Figura 3); este hallazgo establecería casi definitivamente la noción de la localización cerebral de las funciones cognitivas.



**Figura 3.** Fotografía del cerebro de Monsieur Leborgne. La lesión es claramente visible en la porción inferior del lóbulo frontal izquierdo. (*Dronkers NF, et al., Paul Broca's historic cases: high resolution MR imaging of the brains of Leborgne and Lelong. Brain 2007;130:1432-1441*).

Posteriormente, Wernicke (1848-1905) describió un esquema del lenguaje más "conexionista", que más tarde se desarrollaría y conocería como modelo de Wernicke-Lichtheim-Geschwind, por el cual las áreas auditivas proyectan a otros centros encargados de procesar la salida motora del lenguaje y a los centros que contienen imágenes visuales y conceptuales de las palabras (68). En

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

la actualidad se acepta que la función cerebral superior del lenguaje se organiza en múltiples áreas cerebrales interrelacionadas que trabajan de forma coordinada para la emisión, comprensión e integración de mensajes lingüísticos (69).

Si bien podríamos asegurar, con poco margen de error, que el paciente de Paul Broca sufrió un accidente cerebrovascular, si existe una patología cuyo estudio ha aportado un mayor conocimiento acerca de la localización funcional del cerebro ésta es la epilepsia. En el estudio y cuidado de pacientes epilépticos centraron sus esfuerzos Robert Bentley Todd (1809-1860) y John Hughlings Jackson (1835-1911), quienes consiguieron situar el origen de determinados tipos de crisis epilépticas, fundamentalmente motoras, en los hemisferios cerebrales. Conviene señalar que estos hallazgos eran contrarios a la creencia previa defendida por Thomas Willis de que las crisis se originaban en el tálamo (70-73).

Paralelamente, los hallazgos del neurólogo Korbinian Brodmann (1868-1918) en el campo de la citoarquitectura, identificando diferentes regiones cerebrales en función de su organización laminar (Figura 4), le permitieron identificar un total de 47 zonas o áreas, si bien algunas de ellas pueden subdividirse hasta formar un total de 52. Esta clasificación, conocida como "áreas de Brodmann", sentaría la base anatómica para la distribución de las distintas funciones cerebrales, empleándose universalmente y siendo de gran utilidad para el estudio del cerebro y el tratamiento de los pacientes (74).

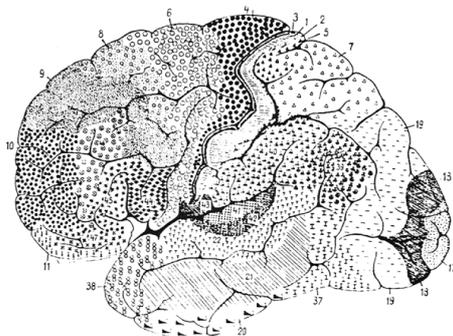
52

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

52 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

#### ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS



**Figura 4.** Hemisferio cerebral humano aplicando las “áreas de Brodmann”. (K. Brodmann. *Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaues*. 1909).

No obstante, el entendimiento de la organización funcional del cerebro dio un salto enorme hacia adelante gracias al desarrollo de las técnicas de estimulación eléctrica cerebral. Este hecho unido al aumento de la esterilidad en las cirugías y al desarrollo de la anestesia, permitió no solo que los pacientes sobreviviesen más tras los procedimientos neuroquirúrgicos sino que estos pudiesen someterse a pruebas neurofisiológicas durante los procedimientos.

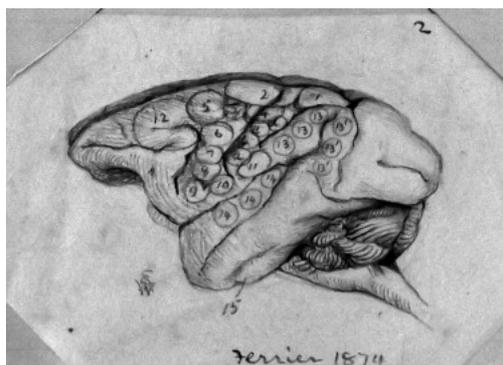
A este respecto, la experimentación en animales mediante estimulación eléctrica cerebral que llevaron a cabo Eduard Hitzig (1838-1907), John Hughlings Jackson, Charles Sherrington (1857-1952) y Victor Horsley (1857-1916), permitió confirmar que las funciones motoras y sensitiva descansan en el cortex que se encuentra alrededor del surco central. Por su

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

### ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

parte, los trabajos de experimentación de David Ferrier (1843-1928) posibilitaron ubicar el cortex auditivo en la circunvolución temporal superior (Figura 5) (75-78).



**Figura 5.** Dibujo de David Ferrier del mapping cortical en el cerebro del macaco. El cortex auditivo está representado con el número 14. (Ferrier, D. *Experiments on the brain of monkeys.—No. I. Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 23, 409-432. 1875).

Hasta ahora, hemos descrito la sucesión de hallazgos relacionados con el uso experimental de la estimulación eléctrica cerebral, no obstante, los primeros en emplear la estimulación eléctrica para aportar mayor seguridad al paciente durante una intervención quirúrgica cerebral fueron Rickman Godlee (1849-1925) y Alexander Hughes Bennett (1848-1901). Estos llevaron a efecto los hallazgos experimentales descritos por los neurocientíficos que

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

mencionamos con anterioridad, procediendo a reseca una lesión tumoral intra-axial de localización rolándica con gran precisión en 1885 (79, 80).

Tan solo dos años más tarde, Victor Horsley presentó a la comunidad científica sus hallazgos realizando estimulación eléctrica cortical para guiarse durante los procedimientos quirúrgicos (81). Poco tiempo después, en 1888, el neurocirujano americano, W.W. Keen (1837-1932), describió un electrodo bipolar diseñado por él mismo con el que estimulaba la corteza cerebral para localizar funciones durante las cirugías (82). Posteriormente, a comienzos del siglo XX, el estadounidense Charles Harrison Frazier (1870-1936) y el alemán Fedor Krause (1857-1937) publicaron en revistas científicas bocetos en los que describían los resultados del mapping cerebral sobre la región central, desarrollados en gran medida durante el tratamiento quirúrgico de numerosos pacientes con epilepsia (83, 84).

No obstante, sería el padre de la neurocirugía moderna, Harvey Cushing (1869-1939), quien expandiese la técnica de mapping cerebral mediante estimulación farádica en pacientes despiertos (Figura 6). A tales efectos incluyó la estimulación eléctrica de la circunvolución postcentral, siendo así el primero en definir claramente el cortex sensitivo en 1908 (85).

Además, presentó un estudio que incluía a 41 pacientes intervenidos bajo anestesia a los que les había realizado mapping cortical y subcortical, encontrando respuestas motoras cuando estimulaba en la circunvolución

55

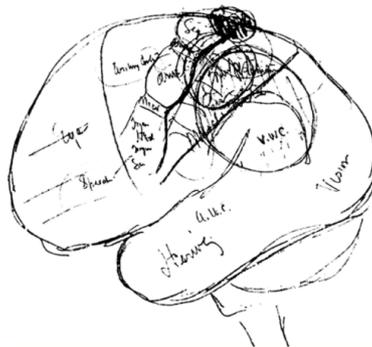
Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

55 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

### ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

anterior a la corteza motora primaria. A esta área cerebral se la ha reconocido con posterioridad como "área motora suplementaria" (86).



**Figura 6.** Boceto de Harvey Cushing donde localiza diferentes funciones cerebrales. En el lóbulo frontal áreas responsables del movimiento ocular y del lenguaje, en el lóbulo temporal la audición, en lóbulo occipital el área encargada de la visión, además de las funciones sensitiva y motora en el región perirrolándica. (The Alan Mason Chesney Medical Archives).

Sus trabajos y descubrimientos continuaron desarrollándose por parte de su aprendiz y amigo Wilder Penfield (1891-1976) (87) quien, inspirado por el epileptólogo Jackson, realizó numerosos hallazgos mientras profundizaba en el estudio de la epilepsia y en su tratamiento quirúrgico. Penfield realizó una estancia de seis meses en Breslau (Alemania, actualmente Polonia) con Oftrid

56

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

56 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808      Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

Foersted (1873-1941), con el que aprendió técnicas de estimulación cortical y desarrolló un método para identificar el foco epileptógeno (técnica Foerster-Penfield). En el año 1934, Wilder Penfield fundaría el Montreal Neurological Institute (Canadá), un centro en el que se encontraba rodeado de otros neurocientíficos y desde donde lograría arrojar luz de forma casi definitiva al conocimiento acerca de la localización de las funciones cerebrales sensitivo-motoras, del lenguaje, la memoria y las emociones.

El Dr. Penfield fue pionero en el tratamiento quirúrgico de la epilepsia, realizó por vez primera un registro epidural electroencefalográfico y desarrolló un método válido para practicar cirugía cerebral en el paciente despierto con anestesia local que le permitía localizar la zona epileptógena (*the Montreal Procedure*) (88). Debido al elevado número de pacientes epilépticos que intervino con este método, Penfield logró obtener mucha información derivada de las respuestas del paciente a la monitorización eléctrica cerebral, incluyendo el lóbulo temporal mesial (hipocampo). El mapping cerebral alcanzaría su máximo apogeo en el MNI durante la primera mitad del siglo XX (89).

Gracias al registro meticuloso que realizaba con cada paciente y a su habilidad para la observación clínica logró desarrollar detallados mapas funcionales. Wilder Penfield, de forma conjunta con su compañero Edwin Boldrey (1906-1988), presentaron en 1937 una representación somatotópica sensitiva y motora basada en el registro de 126 pacientes (Figura 7).

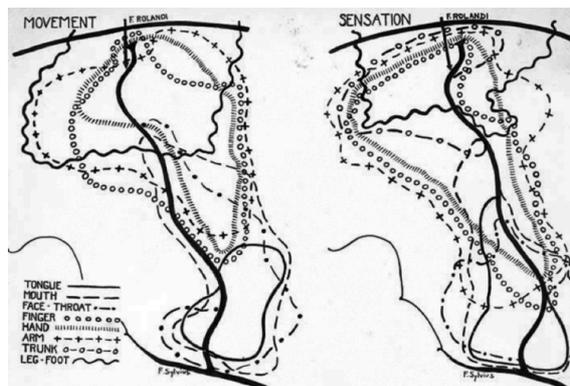
57

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

57 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
 CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**



**Figura 7.** Respuestas motoras y sensitivas al mapping cortical que demostrando la variabilidad existente en la circunvolución pre- y postcentral, respectivamente. (Penfield W, Boldrey E: *Somatic Motor and Sensory Representation in the Cerebral Cortex of Man as Studied by Electrical Stimulation*. Brain, 1937, 60(4):389- 443). Oxford University Press).

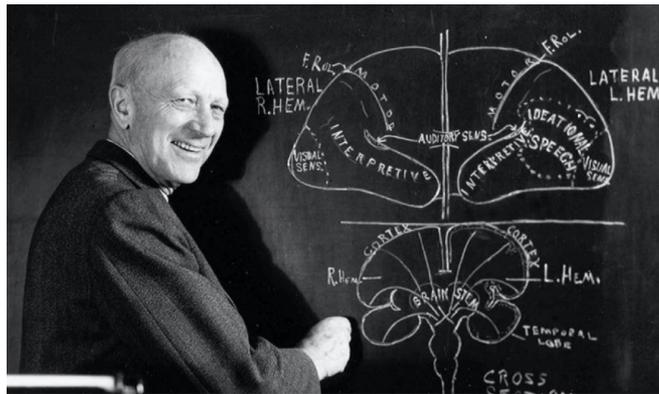
Respecto al estudio del movimiento y sensación del tronco y piernas mediante estimulación cortical directa, los autores comentaron: "Sin duda se habrían obtenido más respuestas si hubiera sido factible estimular el borde del hemisferio y la superficie mesial en la fisura longitudinal medial con mayor frecuencia. El peligro de sangrado de los senos y las venas tributarias hace que no sea aconsejable estimular aquí a menos que sea claramente necesario". A pesar de esta observación, existen registros de 9 pacientes que se sometieron a estimulación cortical mesial en el artículo (90). Finalmente, ilustraron la

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

### ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

representación somatotópica funcional que existe en el cortex cerebral, conocido universalmente como el "homúnculo de Penfield" (Figura 8) (19).



**Figura 8.** Wilder Penfield en 1963 dibujando una sección transversal de la vía corticoespi-  
nal en el cerebro humano. (Osler Library. McGill University).

En 1950 Penfield, junto al también neurocirujano Theodore Rasmussen (1910-2002), publicaron un libro donde compartían importantes hallazgos con respecto a la distribución funcional cortical. Sus conocimientos se basaron en esta ocasión en 400 pacientes intervenidos bajo anestesia local, con los que habían practicado una estimulación eléctrica cortical, ablación de áreas corticales o bien habían observado los efectos de las crisis epilépticas (91). En

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

este libro establecen la localización de la corteza motora suplementaria, área sensitiva secundaria, áreas auditivas y visuales, función del lenguaje motor y sensitivo, a parte de desarrollar teorías sobre funciones cognitivas. Además, dedican un capítulo a la resección de regiones corticales, haciendo hincapié en la existencia de áreas no elocuentes, y un capítulo final a los procesos elaborados e integrativos de la corteza cerebral y su relación con el diencéfalo.

En 1959, publicaría junto a Lamar Roberts una revisión de una serie de 110 pacientes con alteraciones del lenguaje que eran producidas por interferencia eléctrica y por varios tipos de resección cortical (92). Basándose en el tipo de fallo de lenguaje realizaron un mapa funcional cortical del mismo que sigue estando vigente en la actualidad. Asimismo, mediante la implantación de electrodos y estímulo de las estructuras límbicas temporales lograron generar fenómenos relacionados con las experiencias y la memoria (93).

Tradicionalmente, la relación entre cerebro y función ha tenido una visión "localizacionista", donde la organización cerebral se fundamenta en que las diversas funciones neurológicas (motora, sensitiva y cognitiva) toman asiento en regiones corticales específicas. Como resultado, se definieron una serie de áreas "elocuentes" (áreas de Rolando, Broca y Wernicke...), en las cuales cualquier lesión generaba en el paciente un déficit neurológico importante, y unas áreas cerebrales "no elocuentes", sin consecuencias neurológicas aparentes cuando sufrían un daño (94).

No obstante, el dogma de un sistema nervioso central organizado de forma estática, incapaz de compensar cualquier daño que afecte a las áreas

60

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

60 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

“elocuentes”, se ha ido diluyendo como resultado de hallazgos tanto clínicos (plasticidad cerebral) como experimentales (mapping cerebral y neuroimagen). Actualmente, se acepta una visión más dinámica e integral del cerebro que se conoce como “hodotópica”. En este nuevo enfoque se tiene en cuenta, además de la organización funcional que tiene lugar en la corteza, la conectividad axonal existente entre distintas regiones (“agregados neuronales”) a través de la sustancia blanca (95). La importancia de esta red cortico-subcortical se pone de relieve de forma específica en la patología de los gliomas de bajo grado. Estos tumores se caracterizan por su lento crecimiento, permitiendo al cerebro llevar a cabo una reorganización funcional (plasticidad cerebral). Resulta llamativo cómo en pacientes con lesiones tumorales en áreas “elocuentes”, no presentan déficits neurológicos importantes. Se ha demostrado que en la cirugía de este tipo de tumores es más probable que exista tumor residual si este toma asiento en la sustancia blanca en contraposición a regiones corticales. El potencial de plasticidad a nivel cortical es alto, pero no lo es a nivel subcortical, lo que implica que la conectividad axonal debe ser preservada para permitir una recuperación funcional postquirúrgica (96). Este conocimiento, de cuyos principales abanderados son los doctores Hugues Duffau y Marco Catani, ha permitido ajustar individualmente el manejo terapéutico de las lesiones cerebrales teniendo en cuenta las relaciones dinámicas entre éstas y la reorganización funcional cerebral que se produce de forma adaptativa (94).

Esta visión “hodotópica” también ha hecho que se cuestione el concepto de somatotopía, en el que existe una organización topográfica cortical estática.

61

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

61 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguilár UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

En los últimos años, estudios experimentales en animales y seres humanos han aportado evidencia que indica que el modelo somatotópico del homúnculo sensitivo-motor o de Penfield es reduccionista y simplificado. Así por ejemplo, existen proyecciones eferentes desde las motoneuronas de M1 que divergen para conectar con grupos neuronales que corresponden con diferentes grupos musculares. También estas motoneuronas presentan extensiones abónales colaterales que conectan entre sí diversas regiones de la corteza motora primaria horizontalmente. Consecuentemente, el movimiento implica a grupos de neuronas que son responsables de diferentes músculos y que se encuentran distribuidas ampliamente a lo largo de la corteza de M1 (97). Así mismo, otros autores han cuestionado la precisión del homúnculo de Penfield basándose en técnicas de análisis de imágenes (90). Estos autores argumentaron que hay muchas áreas somatotópicas superpuestas representadas en la corteza y en el homúnculo clásico descrito por Penfield (98).

Un creciente número de publicaciones abogan porque la estimulación cortical directa del cerebro como método gold standard para aportar información realista y reproducible sobre la conectividad del cerebro humano (95). Retrocediendo ligeramente en la línea del tiempo y centrándonos únicamente en las respuestas de tipo motor a la estimulación eléctrica cerebral, Gustav Fritsch (1838-1927) y Eduard Hitzig (1838-1907) en los años 60 fueron los primeros en generar experimentalmente movimientos contralaterales tras realizar estimulación cortical directa sobre la corteza motora de perros y monos (99); posteriormente David Ferrier realizaría sobre ellos mapping cortical (100).

62

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

62 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

Por su parte, Penfield y el neurofisiólogo Herbert Jasper (1906-1999) realizaban mapping motor de forma rutinaria en el paciente despierto, estimulando con un electrodo bipolar durante 4-5 segundos y una frecuencia de 50-60 Hz generando respuestas motoras en el paciente (89).

A partir de este momento, investigadores de todo el mundo trataron de hallar un método válido y reproducible para conseguir evocar potenciales motores en pacientes que se encontraran bajo los efectos de la anestesia general. En este sentido, destaca el trabajo en gatos y primates anestesiados de Patton y Amassian (101), quienes describieron que tras un solo pulso de ECD se estimulan varios tractos corticoespinales generando como resultado dos tipos de ondas, la primera de ellas se definía como onda-D o directa, seguida de un grupo de ondas-I o indirectas. Estos dos conceptos neurofisiológicos se desarrollarán en profundidad en el siguiente apartado (Potenciales Evocados Motores).

Sin embargo, si existe un trabajo que marcó historia con respecto a los PEM, este fue publicado en la revista Nature por Merton y Morton (Figura 9). Estos autores demostraron que era posible estimular la vía piramidal en humanos a través del cráneo intacto. Asimismo, estimularon eléctricamente mediante un breve pulso de alta intensidad el cerebro humano a través del cráneo intacto, demostrando que se podía estimular la vía piramidal evitando la elevada impedancia que genera la barrera anatómica (102).

Posteriormente, otros grupos desarrollaron técnicas de monitorización del tracto corticoespinal mediante el registro de la Onda-D tras estimulación

63

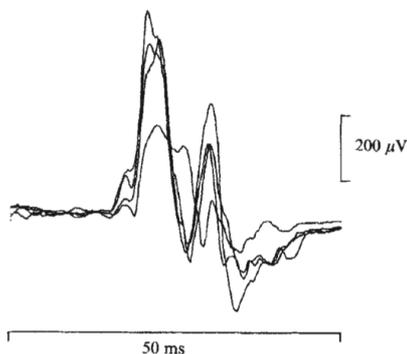
Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

63 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

eléctrica transcraneal (EET), pero no lograron resultados satisfactorios en pacientes sometidos a anestesia general y además excluían a la segunda motoneurona o motoneurona inferior (103-105).



**Figura 9.** Potencial evocado motor registrado en el antebrazo tras estimular transcranealmente. (Merton & Morton. *Stimulation of the cerebral cortex in the intact human subject. Nature. 1980*).

No obstante, sería Taniguchi quien finalmente lograra describir un método válido y consistente para generar PEM en el paciente anestesiado, denominándose técnica multipulso. Esta consiste en utilizar un tren de impulsos breves que en última instancia genera distalmente potenciales de acción en los músculos esqueléticos, donde se disponen agujas de EMG para su registro (106). En cuestión de muy poco tiempo, dicha técnica sería validada para su utilización

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

en cualquier tipo de cirugía mediante EET (107-109), convirtiéndose en la forma más habitual para el registro intraoperatorio de PEM en la actualidad.

En resumen, la estimulación eléctrica cerebral comenzó como una técnica experimental en animales que con posterioridad sería trasladada al cerebro humano con fines terapéuticos, lo que permitió a su vez aumentar enormemente el conocimiento acerca de la localización de las áreas funcionales en el cerebro humano.

En la década de 1970 las técnicas neurofisiológicas comenzaron a ser utilizadas con cierta frecuencia en los procedimientos quirúrgicos con el objetivo de reducir el riesgo de daño en el sistema nervioso, siendo el germen de lo que conocemos actualmente como MNIO (37). En los siguientes 20 años se documentaría la utilidad de los PESS y de potenciales auditivos de tronco cerebral, así como del electromiograma (EMG), para reducir la morbilidad de las cirugías. Paralelamente fue aumentando la comercialización de equipamiento para llevar a cabo la MNIO y de esta manera los hospitales, mayoritariamente universitarios, comenzaron a ofrecer estas técnicas como apoyo en las intervenciones quirúrgicas. Con algo más de retraso se dispondría de un método válido y consistente para generar PEM, técnica multipulso, no tardando en aparecer bibliografía que documentara su seguridad de uso además de utilidad en la detección de alteración y/o daño neurológico (110-112). Finalmente, el desarrollo tecnológico de los dispositivos de MNIO ha extendido su uso a la mayoría de los centros hospitalarios donde se realizan procedimientos neuroquirúrgicos de forma rutinaria.

65

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

65 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

**D. Potenciales Evocados Motores.**

A mediados de los años 60 la MNIO se basaba en el registro de los potenciales evocados somatosensoriales con el propósito de disminuir el riesgo de déficit neurológico postquirúrgico, tanto sensitivo como motor (113). Durante muchos años esta fue la única herramienta para realizar MNIO. Existen numerosas publicaciones que demuestran la utilidad de los PESS en diversos tipos de intervenciones quirúrgicas, incluyendo aquellas que se realizan sobre los nervios periféricos/plexos, la médula espinal, el troncoencéfalo y el cerebro (114). Hoy en día los PESS siguen desempeñando un papel fundamental en la MNIO dado el valor intrínseco de su registro, pero también al posibilitar la localización del surco central del cerebro o surco de Rolando como paso previo a la generación de PEM mediante ECD (115).

Durante más de 30 años los PESS han sido empleados por su valor predictivo de déficit motor postoperatorio, el fundamento de su fisiología es que un evento isquémico de cualquier mecanismo afecta simultáneamente a la vía sensitiva y motora. De esta manera, si se produce un evento isquémico que afecta al lemnisco medial en el tálamo o a las proyecciones tálamo-corticales que se elevan por el brazo posterior de la cápsula interna y corona radiada, podrán existir cambios en el registro de los PESS. Sin embargo, los PESS pueden fracasar si el daño afecta exclusivamente a las vías motoras sin compromiso de los tractos sensitivos. Algunos ejemplos bien documentados en la literatura médica son las cirugías de los aneurismas cerebrales, donde estos potenciales pueden ser

66

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

66 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

insensibles a isquemia subcortical en la región de la cápsula interna (116, 117), en contraposición a los PEM que han demostrado ser más sensibles al daño motor (9-12). Otro buen ejemplo se encuentra en la cirugía que se realiza sobre el raquis, donde diferentes grupos de trabajo han notificado casos clínicos de pacientes que desarrollan un déficit neurológico motor postquirúrgico a pesar de no existir cambios en el registro de los PESS (118-121). Por todo ello, en la actualidad los PEM son la herramienta más empleada para llevar a cabo MNIO, habitualmente registrándose de forma conjunta con los PESS.

Antes de continuar profundizando en la metodología necesaria para obtener PEM, conviene hacer un breve repaso del **sustrato anatómico** sobre el que estos se asientan. La superficie de la corteza cerebral contiene seis capas de sustancia gris y cada área funcional del cerebro presenta una proporción diferente de cada una de estas capas, generalmente la capa 5 funciona como emisora de información mientras que la capa 4 es receptora (Figura 10). Esta disposición citoarquitectónica básica de seis capas será la misma en todo el cortex, a pesar de la existencia de diferentes áreas funcionales. Como se comentó en la introducción, la nomenclatura utilizada en la actualidad para dividir el cerebro en dichas áreas funcionales, atendiendo al criterio de citoarquitectura, se debe a los hallazgos de K. Brodmann y se conoce coloquialmente como "áreas de Brodmann" (122).

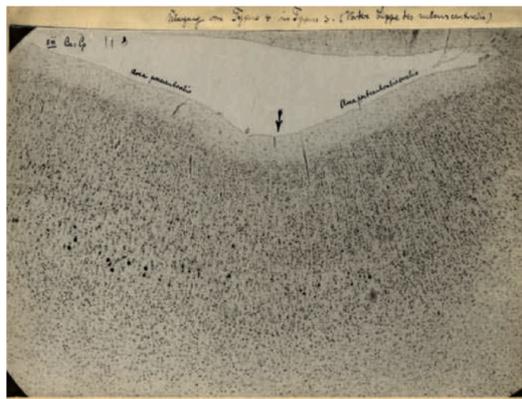
67

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

67 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**



**Figura 10.** Micrografía de Brodmann. Se muestra el borde (flecha) entre el Área 4 (cortex motor primario; lado izquierdo) y el Área 3 (corteza somatosensorial primaria; lado derecho). Se observa la estructura en 6 capas. La inscripción manuscrita en la esquina superior derecha dice (traducción): "transición entre el área 4 y el área 3; pared anterior del surco central". (C. & O. Vogt-Institute of Brain Research, University Düsseldorf, Germany).

El cortex motor se divide en tres áreas funcionales: 1) la corteza motora primaria (M1); 2) el cortex premotor (PM), y 3) el área motora suplementaria (AMS). Al extenso área de corteza frontal que se localiza anteriormente a estas estructuras se le denomina como corteza prefrontal (123). El desarrollo de modernas técnicas de neuroimagen han posibilitado un conocimiento anatómico y fisiológico más profundo que desafía la división tradicional de las áreas motoras. En este sentido, una parte del cortex cingulado previamente relacionado únicamente con el sistema límbico, se considera hoy en día un área

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

motora principal (área motora cingulada) (124). Nos centraremos en la descripción de la corteza motora primaria (M1 o área 4 de Brodmann) ya que su estimulación eléctrica produce activación de la musculatura contralateral, generando los PEM que se registran en la MNIO.

La circunvolución de M1 se encuentra anterior al surco central en el giro precentral, desde un punto de vista histológico la capa 5 presenta numerosas células piramidales o células de Betz de las que se originan axones largos que conectan directamente con la médula espinal y/o con el tronco cerebral. Además estas células poseen grandes somas heterogéneos (piramidales, triangulares, en forma de huso...), dendritas perisomáticas y basilares extensas con proyección horizontal, y dendritas apicales con orientación vertical. Las células piramidales gigantes de Betz se encuentran exclusivamente en M1, su diámetro aproximado es de 60  $\mu\text{m}$  y sus fibras constituyen la población de axones mielinizados más notable del haz piramidal, transmitiendo impulsos nerviosos a la médula espinal con una velocidad cercana a los 70 m/s (125).

Como ya se comentó, W. Penfield, con la ayuda de sus colegas, desarrolló un mapa cortical muy preciso acerca de la distribución de la función motora, trazado con las respuestas obtenidas con la estimulación eléctrica cerebral en los pacientes a los que intervenía. A la representación cartográfica de la organización somatotópica de la corteza motora primaria, consistente y poco variable, se la conoce como "homúnculo de Penfield" u homúnculo cortical (Figura 11) (19, 91). En el área motora suplementaria y en el cortex premotor también se puede definir una distribución somatotópica similar aunque esta se encuentra

69

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

69 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42



**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

los miembros inferiores se ubica en la profundidad de la cisura interhemisférica. Es imperativo destacar que el área de superficie de corteza que se ocupa del movimiento de los músculos del habla y de la mano, supone más de la mitad del total de la superficie de M1.

Las señales motoras se transmiten directamente desde la corteza motora a su destino final a través de la vía piramidal, también denominada haz corticobulbar o corticoespinal. La vía piramidal es un conjunto de fibras nerviosas que se origina en un 30% en M1 (área 4 de Brodmann), en un 40% en las áreas somáticas posteriores al surco central (áreas 1, 2, 3, 23 y 24 de Brodmann) y en otro 30% en PM y AMS (área 6 de Brodmann) (125). Por tanto, hay que precisar que el concepto de vía piramidal constituido íntegramente por fibras motoras originadas en las neuronas piramidales no es válido, de hecho un gran componente neuronal del haz corticoespinal guarda relación con las áreas sensitivas y/o asociativas.

Desde el área 4 de Brodmann los axones de las células piramidales convergen en la corona radiada en la mitad anterior del brazo posterior de la cápsula interna, entre el núcleo caudado y el putamen de los ganglios basales, para luego descender por la porción más ventral del pedúnculo cerebral del troncoencéfalo, donde forman la pirámide del bulbo raquídeo. En la unión del bulbo raquídeo y la médula espinal la mayor parte de las fibras piramidales (75%-90%) cruzarán la línea media (decusación piramidal) para continuar descendiendo a través de los haces corticoespinales laterales de la médula, terminando en su mayoría en las regiones intermedias de la sustancia gris medular (Figura 12). En consecuencia,

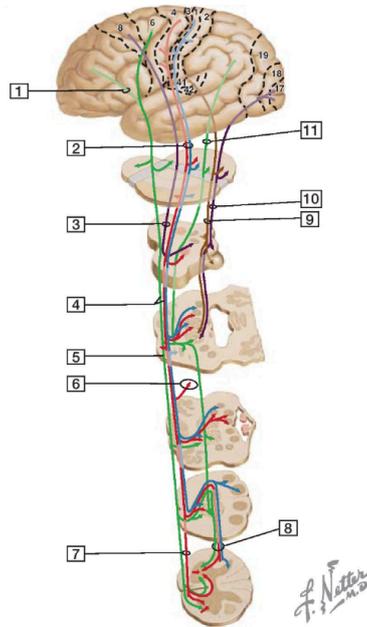
71

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

71 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
 CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**



**Figura 12.** Vías corticales eferentes. 1) Axones desde el cortex frontal. 2) Haz corticobulbar, corticorubral, corticonuclear y corticoespinal. 3) Haz desde campo ocular hasta núcleo intersticial de Cajal. 4) Axones corticoespinales. 5) Axones corticales conectan con sistema pontocerebelar. 6) Axones conectan con núcleo del nervio facial. 7) Tracto corticoespinal anterior. 8) Tracto corticoespinal lateral. 9) Axones desde el cortex auditivo hasta el colicuo inferior. 10) Axones desde área visual al colicuo superior. 11) Axones desde el cortex parietal. (David L. Felten, M. Kerry O'Banion and Mary Summo Maida. *Netter's Atlas of Neuroscience (Third Edition)*. Elsevier, Philadelphia. 2016).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

existe un porcentaje menor de fibras piramidales que no cruzan al lado opuesto de la médula y que descienden ipsilateralmente por los haces corticoespinales ventrales, si bien finalmente la mayoría de ellas terminan cruzando la línea media y proyectándose bilateralmente. Se cree que estas fibras provienen del AMS y que son responsables del control de movimientos posturales bilaterales (125).

El haz corticoespinal contiene más de un millón de fibras nerviosas, la mayor parte de ellas mielinizadas y de pequeño tamaño (1-4  $\mu\text{m}$ ) encargadas de conducir señales tónicas de las áreas motoras de la médula y señales de retroalimentación, constituyendo las que se originan en las células de Betz de M1 tan solo un 5%. Además, a lo largo de su trayectoria existen numerosas conexiones: fibras cortas que regresan a la corteza motora, fibras que penetran en los núcleos caudado y putamen, conexiones con el núcleo rojo, la sustancia reticular, los núcleos vestibulares...

Después de que la célula piramidal alcanza el nivel deseado en la médula espinal, intercambiará información con las interneuronas del asta anterior. Finalmente, será una neurona periférica o motoneurona- $\alpha$  que tiene su cuerpo en el asta anterior de la médula la que transmita la señal eléctrica hasta las placas motoras terminales de los músculos esqueléticos (125).

Una vez que hemos descrito sucintamente la base anatómica de los PEM, continuamos describiendo su electrofisiología. La estimulación eléctrica provoca cambios en la polarización de la membrana celular, estos cambios en el voltaje

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguilár UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

activan a determinados canales iónicos que inducen potenciales de acción. No obstante, una neurona puede activarse o suprimirse en respuesta a la estimulación en función de cuál es su posición en relación con el electrodo y de los parámetros empleados. El resultado final de dicha estimulación eléctrica va a depender directamente del efecto sobre las neuronas cercanas al electrodo, y de forma indirecta de las excitaciones y/o inhibiciones transsinápticas inducidas a distancia (126).

En el momento en el que se aplica al sistema nervioso central un estímulo eléctrico (o bien magnético), dos tipos de respuestas que pueden ser registradas: 1) descargas que viajan a lo largo de la médula espinal y 2) potenciales de acción muscular por activación de las motoneuronas- $\alpha$ .

Las descargas eléctricas que descienden a lo largo de la vía corticoespinal tras la estimulación, encuentran su origen en dos circuitos separados pero no independientes recibiendo la denominación de onda-D y onda-I (101). La onda-D o respuesta directa resulta de la estimulación directa del haz corticoespinal desde el cortex y puede generarse también estimulando directamente la sustancia blanca. Por su parte, la onda-I es la resultante de la activación de circuitos locales en el el propio cortex (127). Mientras la respuesta secundaria se ve afectada por fármacos anestésicos y no aparece durante la MNIO, la onda-D no se altera y aparece de forma consistente.

Considerando que el registro de la onda-D habitualmente ha de ser invasivo, limitando por tanto su utilización en gran número de cirugías que tienen lugar sobre el cerebro y/o columna, es la respuesta que se obtiene en los

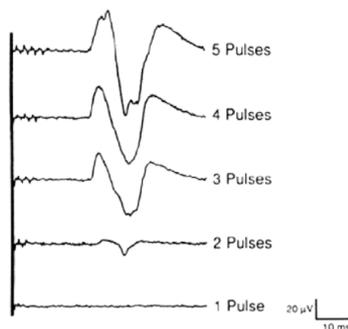
Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
 CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

músculos como resultante del estímulo de activación de las motoneuronas- $\alpha$  la que se registra de forma rutinaria (128). Estos potenciales de acción muscular se registran con la ayuda de unos electrodos de aguja pequeña subdérmica que se introducen en cada músculo de interés con un ángulo de 30° con respecto a la superficie cutánea.

Previamente ya introdujimos la técnica multipulso descrita por Taniguchi (106) la cual, con pequeños ajustes, se ha convertido en el método de MNIO empleado de forma universal para generar PEM en el paciente anestesiado (Figura 13) (109). Esta técnica, conocida también como estimulación anodal de alta frecuencia, consiste en utilizar un tren corto de estímulos desde el ánodo compuesto por 5-9 pulsos con un intervalo de tiempo entre cada uno o intervalo interestímulo (ISI) de 1-4 ms, y un ancho de pulso de 50-500  $\mu$ s.



**Figura 13.** Trenes de impulsos. El efecto acumulativo del tren de impulsos logra generar potenciales de acción muscular, a mayor número de pulsos se obtuvieron respuestas musculares mayores. (Taniguchi M. *Modification of cortical stimulation for motor evoked potentials under general anesthesia: technical description.* Neurosurgery. 1993).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

Se requiere un mínimo de 3 pulsos para generar PEM, mientras algunos especialistas estimulan con trenes de tan solamente 3-4 pulsos (129), otros recurren a trenes de hasta 8 pulsos (130). Con respecto al ISI también hay variabilidad entre centros, sin embargo, en la bibliografía se documenta que con un ISI de 4 ms siempre se producía un PEM con el umbral de estimulación más bajo (131).

Independientemente de la clase de registro intraoperatorio que se esté llevando a cabo, los PEM pueden verse afectados por diversos factores como son la tensión arterial, la temperatura corporal o el tipo de sedación/bloqueo muscular empleado. Por su parte, los relajantes musculares tienen acción directa sobre las motoneuronas- $\alpha$  y siempre que sea posible han de ser evitados o bien revertida su acción una vez su función haya concluido, por ejemplo, tras la incubación orotraqueal del paciente (128). Para dilucidar si el relajante muscular utilizado interfiere en el registro de los PEM, es importante realizar una prueba de tren de cuatro (train of four o TOF). Se ha descrito que encontrando una respuesta TOF de 2/4 se pueden obtener PEM, si bien la amplitud de las respuestas puede verse afectada (132). También está ampliamente demostrado que los agentes inhalatorios son eficaces a la hora de abolir los PEM (133-135), no ejerciendo este efecto de forma lineal. Con el fin de vencer el bloqueo de los gases, y en función de su concentración, se puede ajustar el ISI.

76

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

76 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

El régimen anestésico más comúnmente empleado cuando es necesario llevar a cabo MNIO es la anestesia total intravenosa o TIVA, por sus siglas en inglés (58). La TIVA consiste en la combinación de opioides y sedantes, habitualmente remifentanilo y propofol en perfusión, generando muy pocos cambios en la amplitud de los PEM. Por tanto, el registro intraoperatorio de PEM va a depender estrechamente de la anestesia empleada, recurriéndose habitualmente al binomio técnica multipulso-TIVA.

77

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

77 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

### **E. Técnicas de Estimulación Eléctrica Cerebral.**

Como ya comentamos previamente, los potenciales evocados motores son la piedra angular de la MNIO cerebral al haber demostrado ser el instrumento de registro más sensible para la detección de isquemia (9-12). Los PEM se pueden obtener por medio de la estimulación eléctrica o magnética, sin embargo, en el quirófano no se recurre a esta última por las dificultades técnicas que ello conlleva (136). A su vez, se dispone de dos métodos de estimulación eléctrica cerebral: 1) estimulación eléctrica transcraneal (EET) y 2) estimulación cortical directa (ECD). Ambos métodos emplean la estimulación anodal de alta frecuencia para generar los potenciales motores.

La EET es el método de monitorización de la vía corticoespinal intraoperatorio más frecuentemente utilizado. El estímulo eléctrico es generado sobre el cortex motor con unos electrodos que se fijan al scalp, recogándose la respuesta distalmente en los músculos del paciente o bien directamente sobre la médula espinal (onda-D), habitualmente con un montaje bilateral (interhemisférico y línea media). Utilizando el sistema internacional 10-20 de EEG, el montaje estándar consiste en colocar los electrodos aproximadamente sobre la circunvolución motora acercándolos a las posiciones C1, C2, C3, C4 y Cz. Con la finalidad de estimular desde la línea media, posicionar el cátodo 6 cm anterior a CZ disminuye los movimientos del paciente con cada estímulo eléctrico.

En función del tipo de cirugía que se vaya a realizar y de si el montaje es C1/C2 o C3/C4, el estímulo podrá ser más o menos selectivo con los miembros

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

superiores o inferiores, o bien podrá desencadenar un potencial más profundo o más superficial. La intensidad del estímulo necesaria para evocar respuestas motoras mediante EET no es constante, de hecho, varía en función del resto de parámetros eléctricos utilizados, además del hecho de que cada paciente presenta una fisiología, patología y respuesta a la anestesia específicas. Está constatado que un ancho de pulso entre 50-800  $\mu$ s consigue una estimulación segura, por debajo de los límites teóricos de daño en el tejido nervioso, por lo que un ancho de pulso de alrededor de 50  $\mu$ s es comúnmente utilizado (58).

Con respecto a cuál debe ser la duración del ISI no existe consenso, aunque es bien sabido que un mayor número de pulsos en cada tren posibilita reducir el umbral de estimulación necesario para conseguir una respuesta. Habitualmente, para lograr respuestas motoras en las extremidades se suele realizar un tren de 5-7 pulsos con un ISI de 2 ms y un ancho de pulso de 50-75  $\mu$ s (58).

Tal y como comentamos con anterioridad, existe otro método para obtener PEM que consiste en estimular directamente desde la corteza cerebral (ECD) (16, 17, 20, 137), empleándose en aquellas casos en los que el tratamiento quirúrgico pasa por abrir el cráneo y las meninges. Aunque no es objeto de estudio en el presente trabajo, también se pueden conseguir respuestas motoras estimulando subcorticalmente (138). La ECD posibilita la obtención de un registro de PEM con mínimo o nulo movimiento del paciente. Para ello, mientras que el cátodo se posiciona en FPz, o lo más cercano posible, el ánodo es el propio contacto que estimula desde la corteza. En resumen, tanto para efectuar EET

79

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

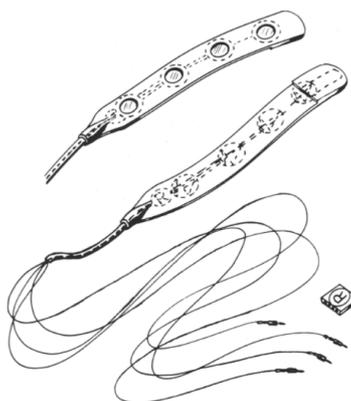
79 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

#### ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

como para ECD se emplea un montaje con diseño ánodo-cátodo (58).

A diferencia de lo que sucede con la EET, para estimular la corteza habitualmente se desliza sobre la circunvolución motora una tira de electrodos o strip subdural. Este strip subdural fue descrito por primera vez por el neurocirujano americano, Allen R. Wyler, con el propósito de realizar electrocorticografía para localizar el foco epileptógeno en pacientes con epilepsia refractaria a tratamiento médico (139); posteriormente se ha extendido su uso para realizar ECD (Figura 14). Concretamente, describió un strip que consistía en 4 contactos con forma de disco compuestos de acero inoxidable, montados sobre una tira de silicona con cables recubiertos de teflón para asegurar su aislamiento.



**Figura 14.** Strip diseñado por Wyler. Superior: superficie con los electrodos de contacto expuestos. Inferior: superficie dorsal que ilustra los cables engarzados, y un pequeño bolsillo en la punta para alojar el instrumento de inserción del electrodo. (Wyler AR. *Subdural strip electrodes for localizing epileptogenic foci*. *J Neurosurg*. 1984).

80

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

80 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

Los materiales que empleó son fundamentalmente los mismos que se emplean en la actualidad, si bien se prefieren los contactos de platino a los de acero inoxidable ya que permiten la realización de RM cerebral sin generar artefacto en las imágenes.

Con respecto a la obtención de PEM mediante ECD existe una metodología concreta que podríamos dividir en: a) posicionamiento del electrodo, b) localización de la inversión de fase, c) registro de PEM, y d) interpretación del registro.

En relación al posicionamiento del strip, en muchas ocasiones los bordes de la craneotomía se encuentran alejados de la circunvolución motora, no exponiéndose directamente y, por tanto, dificultando su localización. Por ello, inicialmente el strip subdural se desliza suavemente sobre la superficie cortical con la intención de cruzar el surco central perpendicularmente, tomando en consideración algunas referencias espaciales. Atendiendo a la ubicación de la craneotomía y de la lesión quirúrgica, además del territorio vascular cerebral envuelto en el procedimiento, se recomienda posicionar el strip de forma más medial o lateral en M1. De esta manera, si se realiza una intervención quirúrgica cerebral a nivel supratentorial y el territorio vascular implicado es el de la arteria cerebral media (ACM), se ha de posicionar el strip lateralmente; si por el contrario el territorio vascular implicado es el de la arteria cerebral anterior (ACA), el strip se posiciona lo más medial posible (16, 20).

En cualquier caso, pueden ser necesarios varios intentos de

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

posicionamiento cuando existan dificultades para localizar el surco central y/o la circunvolución motora. Algunas de las referencias más empleadas son la ubicación de la línea media cerebral, la relación entre los surcos cerebrales, la disposición de las venas corticales y/o el emplazamiento de la craneotomía. El empleo de un sistema de neuronavegación puede ser útil, en muchos casos, al facilitar la identificación de dichas referencias anatómicas. En este mismo sentido, algunos autores recomiendan utilizar electrodos en el scalp para guiar la colocación del strip (20). Además, distintos escenarios pueden dificultar el posicionamiento del strip subdural, incluyendo la presencia de edema cerebral, la rotura aneurismática prematura y la fibrosis tisular (hemorrágica, postquirúrgica o postradioterápica) (20).

Una vez se ha posicionado el strip subdural en el lugar seleccionado se recomienda realizar un registro inicial de PESS para obtener la denominada inversión de fase. Este necesario paso metodológico, previo a la obtención de los PEM, no solo permite conocer con exactitud la ubicación del surco central sino que también qué contacto del strip se encuentra mejor posicionado sobre el cortex motor (115, 140).

Llegados a este punto resulta mandatorio describir brevemente en qué consiste la técnica de la inversión de fase, puesto que existen algunas connotaciones con respecto a la obtención de la misma que afectan directamente al presente estudio. El registro cortical directo de los PESS de los miembros superiores que se obtiene con electrodos subdurales, revela un dipolo de

82

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

82 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

respuesta tangencial desde el límite anterior de la circunvolución sensitiva primaria que muestra una "inversión de fase", siendo negativa (N20) posterior y positiva (P20) anterior al surco central (140). Si bien en algunas ocasiones puede obtenerse una respuesta radial positiva (P25) en dicha circunvolución, el dipolo se proyecta hacia el cuero cabelludo como una onda N20 centroparietal contralateral al nervio estimulado y un componente P22 bifrontal. Sin embargo, el registro cortical de PESS de los miembros inferiores evidencia un componente P37 mesial generado en la corteza sensitiva primaria sin inversión de fase (141). Esta onda P37 se proyecta con mayor frecuencia en la línea media centroparietal, extendiéndose paradójicamente sobre el cuero cabelludo ipsilateral al nervio estimulado debido a su fuente mesial (142). En algunas ocasiones también puede encontrarse su máximo en el vertex, en la línea media parietal o en el cuero cabelludo ipsilateral (58). Una vez el strip está dispuesto en su posición definitiva se recomienda suturarlo a la duramadre adyacente, además de asegurarlo con grapas en el campo quirúrgico, con la finalidad de evitar su desplazamiento durante la cirugía.

Posteriormente, se selecciona el contacto que esté en región motora con mayor amplitud de PESS puesto que es el que requiere una menor intensidad de estímulo para generar PEM. A partir de este momento, se comienza a estimular con el contacto seleccionado con una intensidad de 5-8 mA, incrementándose progresivamente en saltos de 1 mA hasta encontrar respuestas motoras consistentes en amplitud y así obtener un registro continuo de respuestas motoras. Con respecto a los parámetros de estimulación eléctrica, estos son

83

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

83 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

similares a los utilizados para la EET, si bien la intensidad de estímulo es significativamente menor y, habitualmente, el ancho de pulso más largo (500 µs).

Finalmente, una vez que se logra obtener un registro válido de PEM tiene lugar la interpretación del mismo, atendiendo a una serie de criterios que han sido aceptados por la comunidad científica. A este respecto, lo primero que habría que señalar es que estos criterios estarán condicionados por la clase de intervención quirúrgica que se esté llevando a cabo.

No obstante, determinadas alteraciones en el registro neurofisiológico son cruciales para definir unos criterios de alarma o "warning" objetivos, facilitando así la interpretación de dicho registro. En el caso concreto de los PEM, el criterio principal de alarma es que exista una disminución en la amplitud con respecto al inicio del procedimiento, por ello es fundamental conseguir inicialmente un registro basal incluso antes de posicionar al enfermo. El criterio de warning varía desde la desaparición completa de la señal a una disminución porcentual de la amplitud, no existiendo consenso acerca de cuáles han de ser los márgenes de dicha disminución. Aún considerando que, en manos expertas, un criterio de disminución de la amplitud del PEM >80% puede conllevar falsos positivos (58), es habitual considerar una disminución >50% para aquellos procedimientos que tiene lugar sobre la columna vertebral y >50-60% para los que tienen lugar en el cerebro (128). De acuerdo con un estudio publicado en pacientes sometidos a cirugía de tumor cerebral, un descenso en la amplitud de los potenciales >30% se correlaciona con déficit motor postquirúrgico irreversible, mientras que si es <30% es recuperable (143).

84

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

84 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

Existen otros criterios de alarma que son menos empleados, estos incluyen a aquellos que atienden a cambios morfológicos del registro del PEM, pero el más conocido es tal vez aquel que toma en consideración el umbral de estimulación (128, 129). Propuesto por Calancie et al., este es altamente sensible pero muchos factores pueden interferir en él incluyendo la anestesia o la cirugía que se está llevando a cabo. Un estudio mostró cambios sustanciales con respecto al umbral de estimulación en el lado del cerebro donde se estaba llevando a cabo la craneotomía, los cuales no se registraron en el hemisferio cerebral intacto (144).

Cuando acontece un cambio en el registro de los PEM, hay que considerar la existencia y/o concomitancia de diversos factores que podrían aumentar la sensibilidad y especificidad del hallazgo. En primer lugar, hay que plantear si el cambio en la amplitud se produjo de manera gradual o si fue relativamente brusco, ya que la primera de las situaciones puede guardar relación con cambios en la profundidad anestésica o con la presión arterial, y la segunda con aplicaciones de anestésicos en bolo o con desconexión del cableado. Por lo tanto, los problemas anestésicos y técnicos deben evaluarse muy rápidamente durante la interpretación de los cambios en la señal. En segundo lugar, además del curso temporal, ha de tenerse en cuenta si la disminución de la amplitud tiene lugar focalmente. Siendo así, y habiéndose descartado los demás factores técnicos, es muy posible que esté relacionado con una lesión iatrogénica. Finalmente, ha de analizarse el registro neurofisiológico previo a que ocurra el evento. De modo

85

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

85 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

85 / 195

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

que en el supuesto de que exista previamente una variabilidad en el registro >50%, se requieren decrementos mayores en la amplitud para considerar el warning y aumentar la sensibilidad de la prueba (58).

Sería conveniente señalar cuáles son las principales diferencias entre las dos técnicas de estimulación. La EET es el método más empleado para realizar MNIO, entre las razones fundamentales encontramos su simplicidad y la bilateralidad del registro durante todo el procedimiento; desde craneotomía al cierre de la piel. Por su parte, la ECD tiene un uso más limitado al ser necesaria la apertura del cráneo y de las meninges. No obstante, la ECD ofrece algunas ventajas que la convierten en la técnica de elección siempre que se tiene acceso a la superficie cortical.

En primer lugar, con la ECD el movimiento del paciente durante la intervención es nulo o prácticamente inexistente, siendo este hecho de inmenso valor en cirugías que requieren de mucha precisión. La ECD permite monitorizar la integridad de los tractos motores de forma continua, incluyendo aquellas fases de la cirugía donde no se podría realizar EET. También es bien sabido que el "brain shift" exige ajustes continuos en los parámetros de estimulación en la EET. En este sentido, la ECD obtiene un registro intraoperatorio continuo empleando unos parámetros de estimulación más homogéneo, hecho que facilita la posterior interpretación del registro. Además, el movimiento incontrolado del paciente asocia un riesgo de producir lesiones de cualquier tipo, entre las que se incluyen las linguales por mordedura (17, 18, 145).

86

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

86 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

Por otro lado, la ECD permite una estimulación superficial más focal, admitiendo así el uso de una intensidad de estimulación comparativamente menor. De esta manera, se reducen la densidad y la propagación de corriente, además de la penetración profunda de los estímulos. Visto de otra manera, cuando se realiza EET el estímulo eléctrico es tan elevado debido a las impedancias (cráneo y meninges) que este puede propagarse subcorticalmente y "puentear" el área crítica a monitorizar (13, 14). Por ejemplo, en la cirugía de aneurisma se recomienda emplear una intensidad de estímulo < 400 V para evitar la estimulación profunda sobre la cápsula interna, o bien sobre el troncoencéfalo (16). A este respecto, hay trabajos en la literatura científica que detallan situaciones reales de disminución de amplitud y/o pérdida total del registro de PEM detectados mediante ECD pero no con EET (15, 146, 147). A pesar de estas publicaciones, no se ha demostrado hasta la fecha que la ECD disminuya la tasa de falsos negativos con respecto a la EET (148).

Por su parte, la ECD se vincula con un mayor riesgo de generar crisis convulsivas durante la cirugía frente a la EET (1% vs. <0.01%) (110). A este respecto, conviene señalar que si las crisis tienen lugar realizando monitorización neurofisiológica continua, habitualmente son detectadas precozmente en el registro electrocorticográfico (EcoG) y el paciente se encuentra intubado, lográndose un control rápido y sin producir un impacto demasiado negativo en el paciente. Debemos mencionar que la ECD puede generar también descargas epileptiformes repetitivas o after-discharges como respuesta al estímulo eléctrico y objetivarse en el registro ECoG. Se sabe que

87

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

87 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

estas descargas pueden desencadenar crisis epilépticas, incluso 1-2 minutos después de haber aparecido en el registro (58). De ahí que su detección precoz en el registro electrocorticográfico sea importante. Se recomienda tener a disposición del equipo quirúrgico una solución de ringer lactato frío además de fármacos antiepilépticos (FAEs) para subyugar una posible crisis epiléptica intraoperatoria. En último lugar, cabe señalar que la técnica multipulso es menos epileptógena que el método de estimulación de Penfield, generando poco artefacto de señal que a su vez posibilita la detección temprana de las after-discharges (149).

La ECD también asocia riesgos de sangrado, el deslizamiento del strip subdural más allá de los bordes de la craneotomía sin control visual se asocia a un 1,3-2% de riesgo de sangrado intraoperatorio por rotura de venas puente (16, 20). Este riesgo se considera bajo y asumible, hasta la fecha no se ha relacionado con déficits neurológicos postoperatorios. Independientemente de cuál sea el método de estimulación eléctrica seleccionado, finalmente se obtiene un registro de PEM que ha de ser interpretado atendiendo a los criterios anteriormente comentados.

88

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

88 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
 CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

F. Potenciales Evocados Motores de los Miembros Inferiores.

Como ya expusimos con anterioridad, el área de corteza cerebral encargada del movimiento de los miembros inferiores se localiza en la porción más medial y profunda de M1 (19), correspondiendo con el territorio vascular de la arteria cerebral anterior (ACA) (Figura 15).

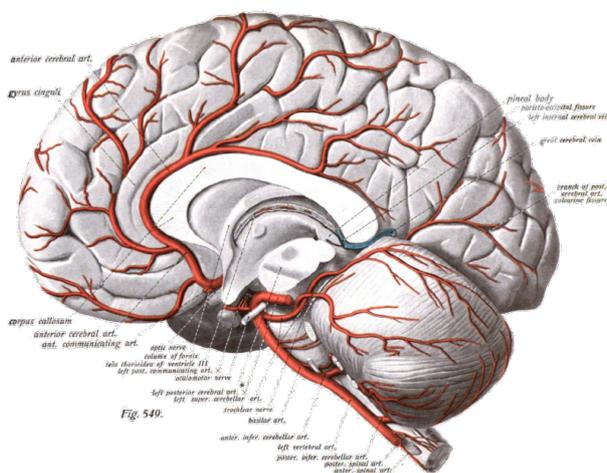


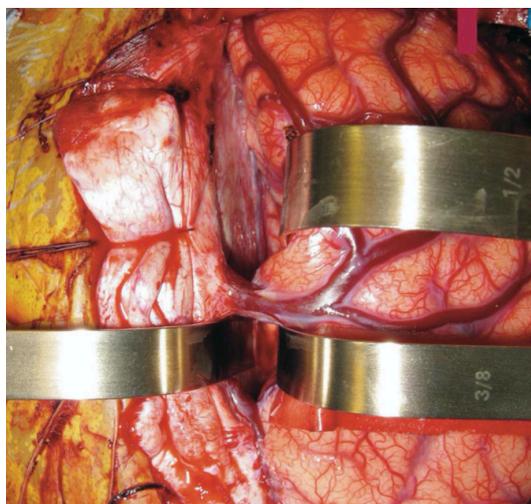
Figura 15. Ilustración anatómica de la arteria cerebral anterior. (Johannes Sobotta. Atlas and Text-book of Human Anatomy Volume III Vascular System, Lymphatic system, Nervous system and Sense Organs. 1908).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

#### ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

El acceso quirúrgico a la línea media cerebral se ve dificultado en gran medida por la existencia de estructuras vasculares venosas que confluyen en dicha localización. En la convexidad de la línea media cerebral, a lo largo del borde superior de la hoz cerebral, discurre el seno venoso longitudinal superior. Se trata de una estructura vascular de gran calibre en la que confluye un elevado número de venas corticales (Figura 16); drenándose a su través una gran cantidad de sangre proveniente de los hemisferios cerebrales. Estos vasos han de



**Figura 16.** Imagen intraoperatoria de la cisura interhemisférica. Es necesario realizar una microdissección muy cuidadosa para preservar las venas puentes. Para la colocación de tiras/mantas subdurales es necesario retraer el parénquima cerebral. (Abuelem T. *Interhemispheric subdural electrodes: technique, utility, and safety.* Neurosurgery. 2013).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

ser respetados siempre que sea posible, especialmente en la región central, ya que su rotura puede acarrear consecuencias devastadoras para el paciente. Las craneotomías que toman asiento directamente sobre la línea media, o adyacente a la misma, implican una serie de riesgos y complicaciones propias como son la rotura y consecuente sangrado del seno longitudinal superior y/o venas corticales, el embolismo aéreo, la trombosis e infartos venosos.

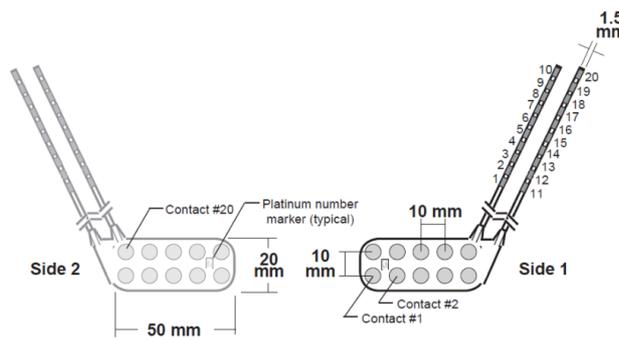
A pesar de las dificultades técnicas, el abordaje quirúrgico al espacio interhemisférico con el objetivo de obtener información de tipo neurofisiológico no supone una novedad. Este hecho resulta especialmente cierto en centros especializados en cirugía de epilepsia, donde desde hace años se implantan rutinariamente mantas de electrodos como parte del estudio preoperatorio. Independientemente de los riesgos propios de la craneotomía, la maniobra consistente en retraer el hemisferio cerebral de la hoz cerebral para acceder a la corteza interhemisférica se ha relacionado con la aparición de complicaciones neurológicas, fundamentalmente déficits focales en miembros inferiores de causa isquémica y/o hemorrágica (126, 150, 151). Los electrodos subdurales interhemisféricos se han utilizado históricamente en los pacientes epilépticos para registrar la actividad eléctrica e incluso para realizar mapping cortical (150), existen incluso algunos diseños con contactos por las dos caras o dual-sided (Figura 17). Es interesante comentar que, a pesar de que la hoz cerebral funciona como un aislante disminuyendo en gran medida la señal eléctrica del hemisferio contralateral, un estudio con este tipo de electrodos dispuestos en el espacio interhemisférico occipital demostró que estos recogían señales del

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
 CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

hemisferio contralateral; no teniendo por tanto capacidad de determinar la lateralización de las crisis (152).



**Figura 17.** Diagrama de un tipo de electrodo utilizado para registro invasivo de epilepsia (“dual-sided”). Presenta contactos de platino por ambas caras y forma de “palo de golf” para facilitar su posicionamiento. (Ad-Tech®, Medical Instrument Corporation, Wisconsin. Medical Instrument Corporation, Wisconsin).

Como ya dijimos, si se tiene acceso a la superficie cerebral la literatura respalda realizar ECD frente a EET (13-15, 17, 18, 145-147). Si bien se reconoce la dificultad existente para la obtención de PEM de miembros inferiores

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

mediante ECD (153), muy pocos estudios abordan la cuestión de forma específica tratando de encontrar soluciones (20, 22). En estos estudios se ha constatando una tasa de éxito para la obtención de los PEM mediante ECD de tan solo el 55%, a diferencia del 66-92% que se obtiene empleando EET (9, 20-22). En uno de los trabajos, realizado en pacientes intervenidos de aneurisma cerebral, se propone realizar EET para generar PEM de los miembros inferiores cuando el aneurisma depende de la ACA, y ECD con strip cuando este dependa de la ACM. De esta manera, combinando ambas técnicas se obtendría un control completo de las vías motoras, sin embargo, las desventajas de la EET cobran especial relevancia en la cirugía aneurismática (18, 20).

Considerando todo lo anterior, al realizar ECD el strip subdural es habitualmente posicionado sobre la corteza motora de área de la mano. No obstante, este método de monitorización puede resultar insuficiente para detectar déficit motor en las extremidades inferiores secundario a insuficiencia de flujo sanguíneo en la ACA, especialmente en cirugías vasculares y/o durante la cirugía tumoral de lesiones perirrolándicas (22).

Tan solo uno de los grupos de trabajo describe un método diferente para lograr la obtención de respuestas motoras del miembro inferior estimulando la corteza cerebral (22). Concretamente, los autores llevaron a cabo un estudio con 22 sujetos que presentaban patología vascular y/o tumoral relacionada con la corteza interhemisférica, en los que deslizaron una pequeña manta de electrodos o grid subdural hasta el aspecto más medial de la convexidad de M1 (Figura 18). En algunos casos, la manta de electrodos fue deslizada a partir de craneotomías

93

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

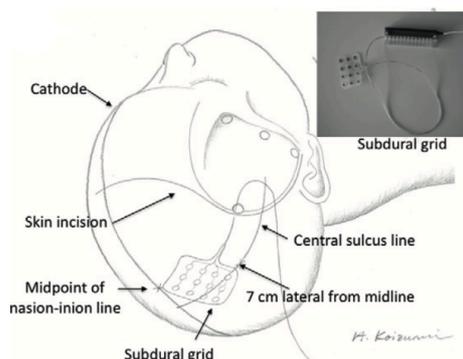
93 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
 CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

pterionales, para lo cual tuvieron en cuenta la disposición de las venas puente en las pruebas de imagen prequirúrgicas con secuencia angiográfica; disponiendo de un strip subdural standard para ser utilizado en vez del grid subdural en el supuesto de que el elevado número o disposición de estas venas elevara el riesgo de sangrado.

Los autores admiten que, puesto que la estimulación no tiene lugar directamente sobre la corteza motora responsable del movimiento de los miembros inferiores, realmente los PEM que se obtienen son el resultado de la diseminación subcortical de la corriente (22). De forma evidente, este hecho que podría aumentar la tasa de falsos negativos del registro disminuyendo la efectividad dela prueba. Los mismos autores publicaron su experiencia en MNIO en cirugía aneurismática empleando EET y ECD con el método descrito (16).



**Figura 18.** Grid subdural para registro de PEM de miembros inferiores descrito por Maruta. (Maruta Y. *Intra-operative monitoring of lower extremity motor-evoked potentials by direct cortical stimulation. Clinical Neurophysiology.* 2012).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

95 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

# JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

96

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

96 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

97 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

## 7. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

En los últimos años hemos asistido a un crecimiento exponencial en la utilización de la MNIO, desempeñando un papel decisivo en la neurocirugía moderna. En este sentido, la MNIO asiste al equipo neuroquirúrgico durante el procedimiento poniendo a su disposición información valiosa y en tiempo real acerca de la localización e integridad funcional del sistema nervioso (7, 8). Este conocimiento posibilita tomar decisiones que disminuyen las probabilidades de aparición de nuevos déficits neurológico postoperatorios (1, 2), los cuales tienen un impacto directo en la calidad de vida del paciente y en su supervivencia (3-6).

Entre las diferentes herramientas neurofisiológicas disponibles, el registro intraoperatorio de los PEM, obtenido mediante EET o ECD, es la más empleada después de haberse demostrado que detecta el déficit neurológico motor postquirúrgico con mayor sensibilidad que el resto (9-12, 116-121). Si bien es cierto que la EET tiene un uso más extendido al ser un método práctico y no invasivo, cuando es posible se recomienda emplear la ECD dado el carácter continuo y preciso del registro (13-15, 17, 18).

En 1984 se describió por primera vez el strip subdural, una tira de electrodos dispuestos en fila, para realizar ECoG en pacientes con epilepsia refractaria y posibles candidatos a tratamiento quirúrgico (139). Poco tiempo después, Taniguchi emplearía ese mismo strip subdural para describir la técnica multipulso (106). Este método, con algunos ajustes, se ha convertido en la

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

actualidad en la técnica "gold standard" para llevar a cabo el registro intraoperatorio de PEM mediante ECD (58).

Mientras que la representación cortical del área de la mano se encuentra en la convexidad lateral del cerebro, donde el strip subdural accede con facilidad; la región de la corteza motora primaria que se ocupa de los miembros inferiores se localiza en la profundidad de la cisura interhemisférica, oculta en el plano sagital y poco accesible. La retracción del hemisferio cerebral desde la línea media para acceder al espacio interhemisférico se relaciona con la aparición de complicaciones isquémicas y hemorrágicas (126, 150, 151). Por este motivo, la tira de electrodos se posiciona habitualmente sobre el área de M1 encargada del control de la mano, describiéndose en la literatura científica una baja tasa de éxito de monitorización de PEM de los miembros inferiores mediante ECD con el strip subdural (9, 20-22). Además, el posicionamiento del strip subdural en la convexidad cerebral podrá verse dificultado por la existencia de venas puente, edema cerebral, hemorragia subaracnoidea y/o adherencias tisulares, asociándose con un 1,3-2% de riesgo de producir sangrado venoso (16, 20).

Desafortunadamente, la disposición del strip subdural en la convexidad lateral podría no ser suficiente para detectar isquemia cortical del área sensitivomotora del miembro inferior, especialmente en la cirugía vascular que compromete a la ACA y durante la resección de tumores de localización perirrolándica (22). Del igual modo, el posicionamiento del strip subdural de forma adyacente a la línea media puede originar falsos negativos ya que las respuestas se no se obtienen tras estimular la corteza interhemisférica (22).

99

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

99 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

Considerando todo lo anterior, y en concordancia con la importancia de obtener un registro continuo de PEM de los miembros inferiores mediante ECD, en los últimos años hemos empleado un electrodo cilíndrico y flexible para lograr acceder con seguridad al espacio interhemisférico en aquellos casos en los que el strip subdural no conseguía evocar respuestas motoras en los miembros inferiores. Este tipo de electrodo cilíndrico se utiliza habitualmente en el contexto de la estéreo-encefalografía (SEEG), empleándose tanto para recoger estímulos eléctricos como para generarlos (mapping cerebral, termocoagulación) (23-31). Sin embargo, **su uso no está descrito en el contexto de la monitorización neurofisiológica intraoperatoria.**

Dada su flexibilidad, pequeño diámetro y forma cilíndrica recurrimos a este tipo de electrodo multicontacto en aquellas cirugías donde se considera necesario obtener un registro continuo acerca de la integridad de la función motora de los miembros inferiores. Hasta la fecha, **no existe en la literatura científica ningún método válido para obtener un registro intraoperatorio de potenciales evocados motores de los miembros inferiores mediante estimulación cortical directa desde la cisura interhemisférica.**

100

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

100 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

101 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

## HIPÓTESIS DE TRABAJO

102

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

102 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

102 / 195



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

103 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

## 8. HIPÓTESIS DE TRABAJO

Esta Tesis Doctoral tiene como **hipótesis fundamental** que un electrodo cilíndrico multicontacto podría ser una alternativa válida al strip subdural para generar potenciales evocados motores de los miembros inferiores desde la cisura interhemisférica, mediante estimulación cortical directa en el contexto de la monitorización neurofisiológica intraoperatoria.

La **hipótesis operativa** del estudio contempla que el electrodo cilíndrico multicontacto puede acceder de forma fácil y segura al espacio interhemisférico en aquellas cirugías que tienen lugar a nivel supratentorial, obteniendo un registro válido de potenciales evocados motores del miembro inferior contralateral en casos donde no es posible con el strip subdural.

104

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

104 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

## OBJETIVOS

106

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

106 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

107 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

## 9. OBJETIVOS

### OBJETIVO PRINCIPAL

Determinar la **validez** del electrodo cilíndrico como alternativa al strip subdural para obtener PEM del miembro inferior.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar un **análisis descriptivo** de la serie de pacientes en la que se empleó el electrodo cilíndrico para realizar MNIO.
2. **Describir** detalladamente la metodología y los parámetros neurofisiológicos empleados, incluyendo la técnica de posicionamiento del electrodo.
3. Evaluar la efectividad del electrodo cilíndrico en los pacientes de la serie para obtener un **registro continuo** de PEM de los miembros inferiores.
4. **Analizar** los registros intraoperatorios y determinar la existencia de eventos neurofisiológicos, correlacionándolos con la exploración neurológica postoperatoria.
5. Evaluar la **seguridad** de uso del electrodo cilíndrico en el contexto de la MNIO, identificando posibles complicaciones en los pacientes de la serie.
6. **Definir** un grupo de pacientes neuroquirúrgicos que podría beneficiarse en mayor medida del uso del electrodo cilíndrico para realizar MNIO.

108

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

108 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808      Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

109 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

## MATERIAL Y MÉTODO

110

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

110 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

110 / 195



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

111 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

## 10. MATERIAL Y MÉTODO

### A. DISEÑO DEL ESTUDIO

El presente estudio es de tipo **observacional, retrospectivo y descriptivo** de una **serie de casos**.

### B. SUJETOS DEL ESTUDIO

La serie incluyó a todos aquellos pacientes que fueron intervenidos por el Servicio de Neurocirugía del Hospital Universitario de Canarias (HUC) desde **Diciembre del año 2014** hasta el mes de **Julio de 2017** en los que se utilizó el electrodo cilíndrico para realizar monitorización neurofisiológica intraoperatoria.

La fecha de inicio de recogida de datos coincide con la de la primera cirugía en la que el electrodo fue empleado con la finalidad anteriormente descrita. Por su parte, la fecha final de recogida de datos tiene por objeto limitar el número de sujetos incluidos en este estudio. Esto se debe a que a partir de esa fecha la empresa que comercializaba el electrodo cilíndrico comenzó a distribuir a nuestro hospital otro diferente, con diferencias estructurales con respecto al previo (diámetro y distancia entre los electrodos). Ambos electrodos se fabrican actualmente y han sido utilizados por nosotros para realizar MNIO, sin embargo con la finalidad de homogeneizar las variables del estudio y añadir robustez al

112

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

112 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

112 / 195

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

resultado se decidió establecer el intervalo de tiempo descrito para acotar la recogida de datos.

**C. CRITERIOS DE INCLUSIÓN**

Se definieron una serie de criterios de inclusión y de exclusión para realizar este estudio:

**A) Criterios de inclusión:**

- > 15 años.
- MNIO con electrodo cilíndrico.
- Cirugía programada (preanestesia y consentimiento informado aptos).

**B) Criterios de exclusión:**

- Ausencia de exploración neurológica pre y postoperatoria.
- Ausencia de prueba de imagen postquirúrgica (<48 horas).

113

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

113 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

**D. VARIABLES DEL ESTUDIO**

Las variables recogidas las podemos dividir en principal y secundarias:

A) **Principal:** Registro intraoperatorio de PEM del miembro inferior utilizando un electrodo cilíndrico multicontacto.

- **Variable dicotómica:** "Se obtuvo un registro intraoperatorio continuo de PEM de miembros inferiores/No se obtuvo un registro intraoperatorio continuo de PEM de miembros inferiores".

B) **Secundarias:**

• **Neurofisiológicas:**

- Intensidad de estímulo eléctrico en miliamperios (mA).
- After-discharges.
- Warnings.

• **Clínicas:**

- Edad y sexo.
- Tipo de lesión.
- Localización de la lesión y de la craneotomía.
- Déficit neurológico prequirúrgico.
- Empeoramiento o aparición de déficit motor postoperatorio.
- Sangrado intraoperatorio secundario el posicionamiento del electrodo.
- Crisis epilépticas preoperatorias/intraoperatorias.

• **Radiológicas:**

- Isquemia cortical.
- Sangrado subdural interhemisférico y/o convexidad.

114

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

114 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

114 / 195

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

**E. RECOLECCIÓN DE DATOS**

En primer lugar, se accedió a la base de datos electrónicos de la Unidad de Monitorización Neurofisiológica Intraoperatoria del Hospital Universitario de Canarias. En ella el equipo médico de neurofisiólogos registra por defecto la información personal de cada paciente, posibilitando su identificación: nombre, edad, sexo y patología, así como los números de historia y de episodio hospitalario. En esta base de datos se encuentran almacenados los registros neurofisiológicos intraoperatorios de cada paciente, especificándose cuándo se ha llevado a cabo utilizando el electrodo cilíndrico.

Tras realizar una búsqueda secuencial en dicha base de datos dentro del intervalo temporal descrito, se identificaron a aquellos pacientes en los que se utilizó el electrodo cilíndrico como herramienta en la MNIO. Con los datos personales de cada uno de ellos se pudo extraer de la historia clínica hospitalaria (sistema informático SAP) el resto de la información necesaria para asegurar el cumplimiento de los criterios de inclusión/exclusión; además de la variables necesarias para analizar la muestra. Con todos los datos recogidos se generó una **base de datos** con el sistema informático Microsoft Excel (19.0).

115

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

115 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

**F. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Se llevó a cabo un **análisis estadístico descriptivo** directamente desde la base de datos con el programa Microsoft Excel, incluyendo medidas de tendencia central (media) para cuantificar la magnitud de los valores de las variables, medidas de dispersión o variabilidad (desviación típica) para las variables cuantitativas. Las variables categóricas se describieron con frecuencias y porcentajes.

**G. PACIENTES**

Este estudio incluyó a **37 pacientes** intervenidos por el Servicio de Neurocirugía del Hospital Universitario de Canarias (Tenerife, España) desde Diciembre de 2014 hasta Julio de 2017 bajo control neurofisiológico intraoperatorio utilizando el electrodo cilíndrico multicontacto. Del total de pacientes que componen la serie, 21 fueron mujeres y 16 varones, presentando una edad media de  $50 \pm 13$  años.

Los pacientes de la serie recibieron tratamiento neuroquirúrgico al presentar patología tumoral o vascular cerebral, realizándose en todos ellos una craneotomía supratentorial en diferente localización según las necesidades específicas de cada caso. La Tabla 1 recoge la edad, sexo, patología, localización de la craneotomía y clínica neurológica previa de cada paciente.

116

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

116 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
 CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

Tabla 1. Características clínicas y abordaje quirúrgico

Paciente	Edad	Sexo	Patología	Déficit Neurológico	Craneotomía
1	45	V	Oligoastrocitoma III	Hemiparesia	Frontal
2	59	V	Astrocitoma III	No	Frontal
3	70	V	Aneurisma ACA	No	Pterional
4	50	M	Oligoastrocitoma III	No	Frontal
5	59	M	Metástasis Cerebral	No	Frontal
6	60	M	Glioblastoma	Hemiparesia	Frontotemporal
7	50	V	Glioblastoma	No	Frontal
8	47	V	Glioblastoma	No	Temporal
9	52	M	Metástasis Cerebral	No	Frontal
10	25	V	Meningioma I	No	Frontoparietal
11	43	M	Meningioma I	No	Frontal
12	66	V	Linfoma Difuso Células B	No	Frontal
13	41	M	Oligoastrocitoma III	Paresia MI	Temporoparietal
14	47	V	Oligoastrocitoma III	No	Temporal
15	72	V	Metástasis Cerebral	No	Frontal
16	47	V	Glioblastoma	Hemiparesia	Temporoparietal
17	59	M	Meningioma I	No	Frontal
18	49	M	Meningioma I	No	Parietal
19	57	M	Metástasis Cerebral	No	Parietal
20	50	M	Metástasis Cerebral	No	Frontal
21	36	M	Oligoastrocitoma II	No	Temporal
22	61	M	Metástasis Cerebral	No	Occipital
23	57	M	Metástasis Cerebral	Hemihipoestesia	Occipital
24	58	M	Glioblastoma	No	Frontal
25	40	V	Meningioma I	No	Frontal
26	17	V	Astrocitoma II	No	Temporal
27	74	M	Glioblastoma	No	Frontal
28	52	V	Metástasis Cerebral	No	Parietal
29	30	M	Astrocitoma III	Hipoestesia MI	Parieto-occipital
30	51	V	MAV	No	Frontal
31	26	V	Astrocitoma II	No	Fronto-parietal
32	50	V	Metástasis Cerebral	No	Frontal
33	44	M	Aneurisma ACM	No	Pterional
34	74	M	Metástasis Cerebral	No	Parieto-occipital
35	30	M	Meningioma I	Hemiparesia	Fronto-parietal
36	55	M	Adenoma Hipofisario	No	Pterional
37	46	M	Aneurisma ACA	No	Frontal

ACA: Arteria Cerebral Anterior; Acomm: Arteria Comunicante Anterior; ACM: Arteria Cerebral Media; H: Hombre; M: Mujer; MAV: Malformación Arteriovenosa; MI: Miembro Inferior; MS: Miembro Superior.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

Un total de 5 pacientes de la serie (13,51 %) presentó déficit neurológico de tipo motor de forma previa a la intervención quirúrgica. El 89,19% de los pacientes fue intervenido quirúrgicamente al mostrar patología tumoral cerebral, mientras que el diagnóstico del 10,81% restante fue el de patología vascular. En la Tabla 2 se resume la distribución de los pacientes de la serie en cada grupo de patologías.

Tabla 2. Patologías quirúrgicas

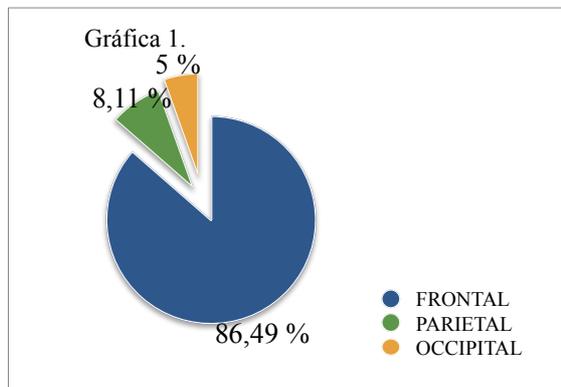
Diagnóstico	%
Tumor maligno	70,27
Tumor benigno	18,92
Aneurisma cerebral	8,11
Malformación arteriovenosa	2,7

Con respecto a la distribución anatómica de las diferentes patologías en los pacientes que componen esta serie, en todos los casos la localización fue supratentorial, con una ubicación mayoritaria en los lóbulos frontales como se ilustra en la Gráfica 1. Las lesiones parietales se localizaron, por definición, posteriormente al surco central, mientras que en los dos casos con localización occipital lo hicieron en la porción más superior y medial de dicho lóbulo (cuneus), superiormente a la cisura calcarina.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
 CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

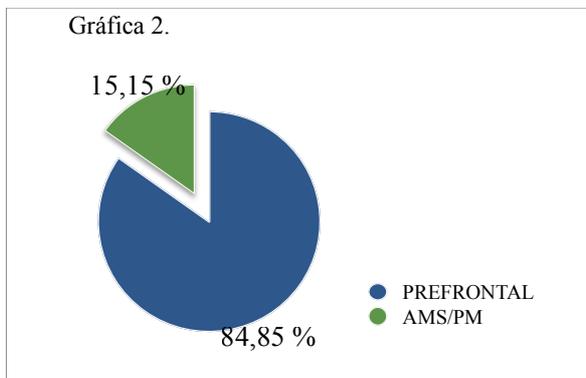


Por su parte, las lesiones cerebrales que encontraron asiento en los lóbulos frontales se localizaron todas ellas anteriormente a M1 y mayoritariamente en la región prefrontal, es decir, anteriormente a cualquier área cerebral con función motora (AMS y PM). El Gráfico 2 representa la distribución de las lesiones en el lóbulo frontal. Es mandatorio señalar que en ninguno de los casos intervenidos fue necesario exponer directamente el aspecto medial de M1 para llevar a cabo la cirugía, al menos desde el inicio, justificándose por tanto no haber realizado un mapping cortical directo con sonda como alternativa al posicionamiento del electrodo cilíndrico.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
 CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

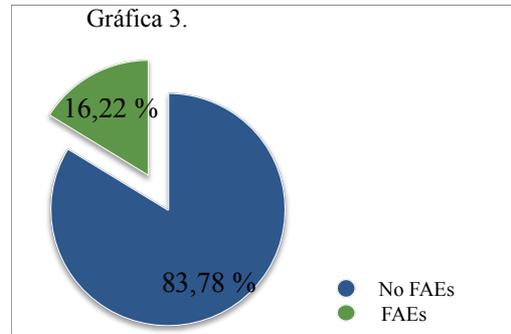


Un total de 6 pacientes de la serie (Pacientes 1, 8, 10, 11, 17 y 27) presentaron crisis epilépticas preparatoriamente por lo que se encontraban recibiendo tratamiento con fármacos antiepilépticos (FAEs) en el momento de la cirugía. Ninguno de los 31 pacientes restantes recibió tratamiento antiepiléptico profiláctico para prevenir posibles crisis epilépticas inducidas por la estimulación cortical directa En la Gráfica 3 se representa la proporción de pacientes de la serie en tratamiento anticomicial.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**



Como parte del protocolo habitual del servicio de neurocirugía del HUC para la patología cerebral tumoral y vascular, después de la intervención quirúrgica (<48 horas) se realizó una prueba de imagen craneal a todos los pacientes de la serie. Concretamente, a los pacientes con lesiones vasculares se les realizó tomografía axial computarizada (TAC), mientras que los que padecían lesiones tumorales malignas se les realizó una resonancia magnética craneal (RM). Además, todas las historias clínicas fueron revisadas para confirmar la firma del consentimiento informado de la cirugía y la MNIO.

121

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

121 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

**H. ANESTESIA**

El protocolo de anestesia total intravenosa (TIVA) se realizó en todos los pacientes estudiados. No se emplearon agentes inhalatorios ni para la inducción ni tampoco para el mantenimiento de la anestesia. Tras la inducción con propofol (2 mg/kg) y remifentanilo (0,05 a 0,20 mg/kg), se administró rocuronio intravenoso (0,6 mg/ kg) para facilitar la intubación. La anestesia se mantuvo mediante perfusión con remifentanilo (0,15 a 0,25 mg/kg/min) y con propofol (4 a 6 mg/kg/h) de acuerdo con los valores del índice biespectral (BIS®). Una vez que la inducción y el posicionamiento del paciente hubo terminado, si la respuesta del tren de cuatro (TOF) indicaba relajación muscular residual, se administró gamma-ciclodextrina (2 a 4 mg/kg) para revertir el bloqueo neuromuscular y poder comenzar a realizar la MNIO.

**I. REGISTRO NEUROFISIOLÓGICO INTRAOPERATORIO**

El equipo médico de neurofisiólogos fue el mismo en todos los casos del estudio, utilizando el sistema de monitorización intraoperatoria de 32 canales Cascade® Elite (Cadwell labs, USA). Atendiendo al protocolo actual de MNIO de nuestro centro hospitalario, los registros intraoperatorios incluyeron la realización de ECoG, PESS y PEM. En todos los casos se dispuso un montaje de electrodos sobre el scalp para poder realizar EET en caso de ser necesario

122

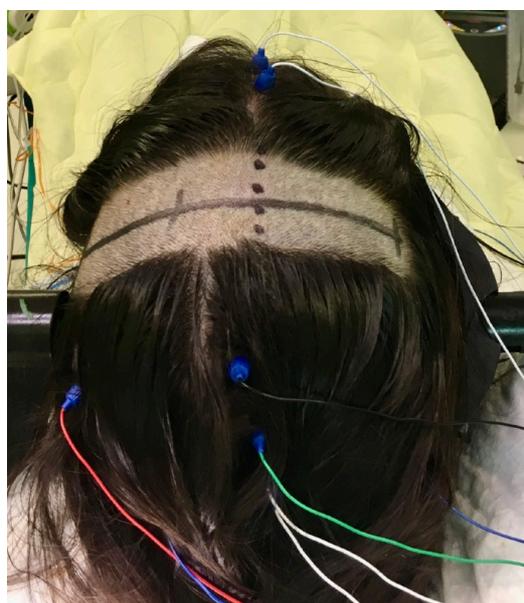
Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

122 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

### ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

(Figura 19). Por su parte, la ECD se llevó a cabo en todos los casos mediante el posicionamiento de un strip subdural en el área de la mano de M1, y un electrodo cilíndrico multicontacto en el área motora del miembro inferior de M1 en el espacio interhemisférico.



**Figura 19.** Montaje empleado para realizar estimulación eléctrica transcranial en uno de los pacientes de la serie. (Departamento de Neurofisiología Intraoperatoria. Hospital Universitario de Canarias).

123

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

123 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

La técnica empleada para localizar la inversión de fase generando PESS, consistió en estimular el nervio tibial posterior contralateral en el maleolo medial, y el nervio mediano en la muñeca con electrodos de superficie. Los parámetros de estimulación eléctrica empleados fueron un pulso de 30 mA, frecuencia de 5.1 Hz y duración de 0.2 ms. El estímulo fue recogido en la corteza cerebral utilizando electrodos subdurales y una referencia extracraneal en Cz. Por su parte los parámetros de registro de los PESS consistieron en un tiempo de análisis de 100 ms, ajustes de filtro entre 1-150 Hz y 250 barridos de promedio.

Por otro lado, con el objetivo de registrar PEM se empleó la técnica multipulso, tanto mediante EET como ECD. En el caso de los PEM obtenidos mediante estimulación transcraneal, se utilizaron electrodos subdérmicos tipo sacacorchos que fueron posicionados en el scalp con localización C1-C2. La técnica de estimulación en este caso consistió en realizar trenes de impulsos compuestos cada uno de ellos de 7 pulsos con un intervalo entre estímulos (ISI) de 4 ms, un ancho de pulso de 50  $\mu$ s y una intensidad entre 240 y 400 V.

En cambio, para la ECD se emplearon electrodos subdurales con la misma técnica de estimulación anodal de alta frecuencia, pero basada en trenes compuestos de 5 pulsos, 4 ms de ISI y un ancho de pulso de 500  $\mu$ s con una referencia en el cuero cabelludo en Cz. El contacto del electrodo elegido para estimular la corteza motora fue seleccionado específicamente en cada paciente, siendo el criterio para su elección aquel que lograra obtener respuestas motoras con la menor intensidad de estímulo necesaria.

124

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

124 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

Los PEM no promediados se registraron mediante electrodos de aguja subdérmica dispuestos por parejas en el músculo deltoides y en el abductor corto del pulgar (abductor pollicis brevis o APB) en los miembros superiores, en el tibial anterior (TA) y el abductor del dedo gordo del pie (abductor hallucis o AH) en los miembros inferiores. Atendiendo de nuevo al protocolo de MNIO de nuestro hospital, en todos los pacientes de la serie también se colocaron electrodos de aguja subdérmica en el músculo borla de la barba (mentalis) por si fuera necesario realizar un mapeo subcortical durante la cirugía. El ancho de banda fue de 10-1500 Hz y la base de tiempo fue de 100 ms.

**J. ELECTRODOS SUBDURALES**

Para efectuar la ECD, se emplearon dos tipos de electrodos (Ad-Tech®. Medical Instrument Corporation, Wisconsin): a) strip subdural y b) electrodos cilíndricos profundos. En la Figura 20 se ilustran las principales características de cada uno de los electrodos atendiendo a su morfología, dimensiones y número/disposición de los contactos.

Ambos electrodos se presentan estériles y de un solo uso. La característica más notable de ambos es que son flexibles, mientras el strip subdural está conformado fundamentalmente de silicona (Silastic), el electrodo cilíndrico contiene poliuretano impregnado con bario. Los contactos y los cables de ambos están compuestos de platino, aislándose entre sí con teflón (Figura 21).

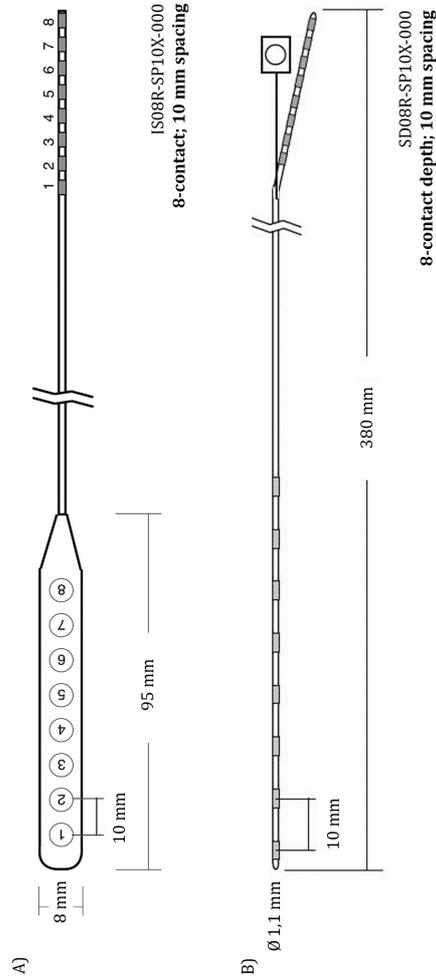
125

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

125 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
 CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**



**Figura 20.** Diagrama de los dos tipos de electrodos subdurales empleados en el estudio. A: Strip Subdural. B: Electrodo cilíndrico. (Ad-Tech®. Medical Instrument Corporation, Wisconsin).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uN0QAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

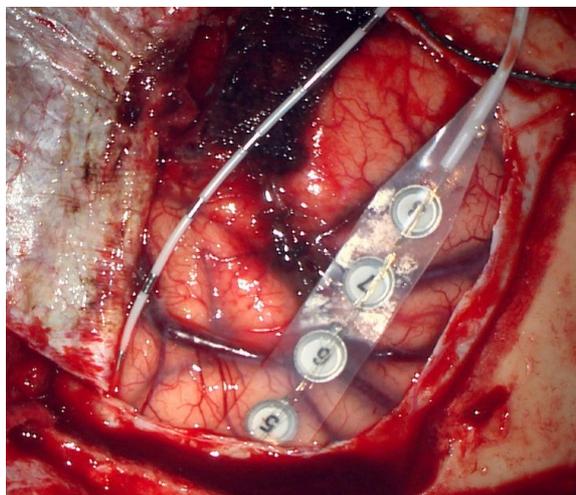
Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**



**Figura 21.** Fotografía intraoperatoria de ambos electrodos subdurales. La flexibilidad, morfología cilíndrica y pequeño diámetro del electrodo cilíndrico permite alcanzar el espacio interhemisférico con facilidad. En la imagen se visualizan signos de sangrado (hemorragia subaracnoidea y surgicel) como resultado de la rotura de una vena puente durante la apertura de la duramadre en línea media. También se visualiza (parte posterior) una vena cortical intacta que se dirige hacia el seno longitudinal superior.

El electrodo cilíndrico multicontacto empleado en los pacientes de la serie también es conocido como “electrodo profundo de Spencer” (SD08R-SP10X-000. Ad-Tech®. Medical Instrument Corporation, Wisconsin). Presenta un diámetro de tan solo 1,1 mm y contiene un total de 8 contactos de 3 mm de largo cada uno, compuestos por platino, con una distancia de separación entre el centro de cada

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

contacto de 10 mm. Además, estos electrodos se encuentran canulados y presentan un estilete semirrígido en su interior, facilitando una implantación profunda y precisa en el parénquima cerebral.

Por su parte, el strip subdural utilizado (ISO8R-SP10X-000. Ad-Tech®. Medical Instrument Corporation, Wisconsin) tiene una morfología plana y presenta un ancho total de 8 mm. Al igual que el electrodo cilíndrico dispone de 8 contactos de platino con forma de disco, con una distancia de separación entre el centro de cada disco y el siguiente de 10 mm.

**K. POSICIONAMIENTO DE LOS ELECTRODOS**

En primer lugar, se deslizó el strip subdural sobre el surco central hasta cruzarlo perpendicularmente en el área de la mano de la corteza motora primaria. Cuando la circunvolución motora se encontraba a distancia de la craneotomía, diferentes referencias anatómicas fueron tomadas en cuenta para mejorar la precisión de este paso. Inmediatamente después se procedió a realizar la técnica de la inversión de fase, estimulando desde el nervio mediano contralateral para generar PESS como ya comentamos anteriormente. Si no se obtenía la inversión de fase en el primer intento, el strip subdural era reposicionado hasta conseguirlo.

Una vez localizado el cortex motor daba comienzo la ECD, estableciéndose una intensidad de estímulo inicial de 5 mA y aumentándose en pequeños

128

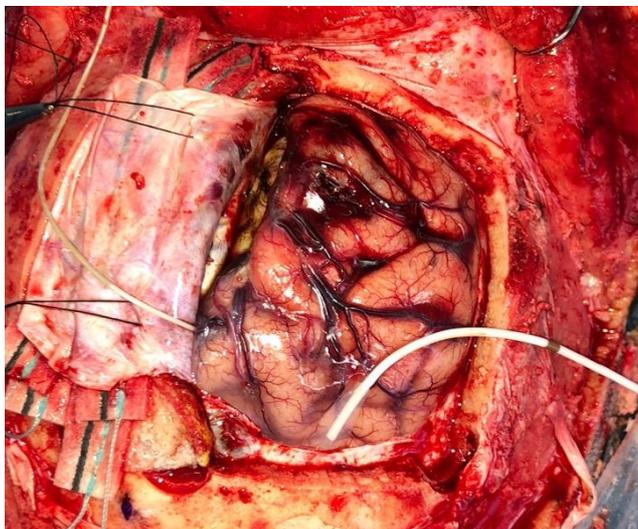
Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

128 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

#### ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

incrementos de 1 mA hasta obtener respuestas motoras favorables. El contacto que requirió la intensidad de estimulación más baja para generar PEM del miembro superior contralateral, fue elegido para continuar con la monitorización continua durante la cirugía. Una vez obtenidos los PEM, el strip subdural fue suturado (seda 4-0) a la duramadre adyacente y/o se utilizaron grapas para generar un bucle con el cable en el campo quirúrgico, con la finalidad de evitar interrupciones del registro durante la cirugía (Figura 22).



**Figura 22.** Fotografía intraoperatoria del Paciente 11 en la que se visualizan los dos electrodos posicionados para llevar a cabo ECD del miembro superior (strip subdural) y del miembro inferior (electrodo cilíndrico profundo). La cirugía consistió en la resección de un meningioma parasagital frontal derecho (se visualiza con color ocre en segundo plano). La posibilidad de dañar la ACA (o sus ramas) justificó el uso del electrodo cilíndrico.

129

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

129 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

En los pacientes que componen esta serie no fue posible obtener PEM de los miembros inferiores con el strip subdural, ya fuese por edema cerebral, adherencias secundarias a tratamientos previos y/o la presencia de venas puente que impidieron aproximarlos a la línea media, o simplemente porque no se lograban obtener respuestas. Por tanto, en todos los casos el siguiente paso consistió en deslizar un electrodo cilíndrico por la superficie cerebral hasta alcanzar el espacio subdural interhemisférico en cada paciente. El posicionamiento del electrodo cilíndrico tomó como referencia la localización de la inversión de fase con el strip subdural. Para proporcionar flexibilidad al electrodo se retiró el estilete semirrígido que viene alojado en su interior, si bien esta maniobra se realizó de manera progresiva mientras el electrodo se deslizaba suavemente sobre la superficie cerebral, manteniendo cierto grado de direccionalidad mientras se irrigaba suavemente con solución salina.

A diferencia de la técnica de la inversión de fase en el área de la mano, donde se estimula periféricamente desde el nervio mediano, la inversión de fase en la corteza interhemisférica generalmente no se obtiene. Este hecho ocurre al estimular distalmente desde el nervio tibial contralateral, por lo tanto, la localización de la inversión de fase con el electrodo cilíndrico se basó en la amplitud máxima del componente P37 (140).

Como se describió anteriormente para la tira subdural, el electrodo cilíndrico se reposicionó hasta obtener un buen registro. Luego, el contacto que proporcionó el umbral más bajo para generar PEM del miembro inferior contralateral se seleccionó para realizar la monitorización continua. Una vez se

130

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

130 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

130 / 195

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

obtuvo un registro de PEM óptimo, el electrodo cilíndrico fue suturado (seda 4-0) a la duramadre adyacente y/o se utilizaron grapas para generar un bucle con el cable en el campo quirúrgico, asegurando así su posicionamiento durante el procedimiento. Una vez que ambos electrodos subdurales se encontraban bien posicionados, y asegurados, daba comienzo el registro neurofisiológico continuo mediante ECD.

**L. WARNING**

El criterio de warning empleado en todos los pacientes de la serie consistió en la desaparición completa de la señal o en la disminución consistente > 50% de la amplitud de los PEM con respecto al inicio de la cirugía, siempre que hubiese suficiente estabilidad en el registro antes de que tuviese lugar el evento. En caso de variabilidad >50% entre los registros realizados precediendo al evento, se requirieron decrementos mayores para considerar el warning (58).

**M. ASPECTOS ÉTICOS**

Este proyecto de investigación fue evaluado y aprobado por el Comité de Ética de la Investigación con Medicamentos del Complejo Hospitalario Universitario de Canarias (Provincia de Santa Cruz de Tenerife) con código: CHUC\_2019\_104.

131

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

131 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

Con el fin de garantizar la confidencialidad de los datos de los pacientes participantes en el estudio, solo tuvieron acceso a los mismos el investigador y su equipo de colaboradores.

El tratamiento, la comunicación y la cesión de los datos de carácter personal de todos los sujetos participantes se ajustó a lo dispuesto en la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales, y a la aplicación de del Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento europeo y del Consejo de 27 de abril de 2016 de Protección de Datos (RGPD).

A todos los pacientes de la serie analizada se les proporcionó un consentimiento informado que incluía el procedimiento quirúrgico y el registro neurofisiológico intraoperatorio, obteniéndose en todos los casos. El electrodo cilíndrico empleado en los pacientes de la serie (SD08R-SP10X-000. Ad-Tech®. Medical Instrument Corporation, Wisconsin) se comercializa universalmente y se encuentra disponible en nuestro centro hospitalario. Su uso está aprobado tanto para registrar estímulos eléctricos como para generarlos, incluyendo el mapping cerebral e incluso la termocoagulación. Igualmente, también está aprobado para ser implantado profundamente en el parénquima cerebral, SEEG, así como para ser posicionados en el espacio subdural (23-30, 154). En los pacientes de este estudio el electrodo cilíndrico se posicionó en el espacio subdural interhemisférico para obtener PEM de los miembros inferiores mediante ECD, tras fracasar con el strip subdural. Para ello se emplearon parámetros de estimulación dentro de los márgenes de seguridad documentados.

132

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

132 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

De igual forma, el diseño de este estudio fue de tipo observacional y retrospectivo, no se ejecutó ningún acto adicional sobre el paciente que no hubiese sido requerido para el manejo habitual de su patología subyacente. El electrodo se empleó en todos los casos con la finalidad de aumentar la seguridad de los procedimientos quirúrgicos y no de realizar este estudio.

133

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

133 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

134 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

## RESULTADOS

135

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

135 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

135 / 195



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

## 11. RESULTADOS

Los registros de MNIO de los pacientes que componen la serie fueron examinados de forma cuidadosa. Se pudo constatar la obtención de un registro continuo de PEM del miembro inferior contralateral con el electrodo cilíndrico desde la corteza motora interhemisférica en todos los casos de la serie (100%). Se emplearon los mismos parámetros de estimulación en todos los pacientes, descritos previamente en el apartado material y métodos, a excepción de la intensidad de estímulo que fue específica en cada paciente. La Tabla 3 recoge las intensidades de estímulo empleadas con el electrodo cilíndrico en cada paciente de la serie. La intensidad media de estimulación en la serie fue de  $15.2 \pm 4.0$  mA.

En los registros no se detectó la presencia de after-discharges inducidas por la ECD, tampoco se ocurrieron crisis epilépticas intraoperatorias. Asimismo, ninguno de los registros intraoperatorios cumplió los requisitos previamente comentados para generar una alerta o warning. La exploración neurológica de los pacientes recogida en la historia clínica tras el procedimiento quirúrgico no presentó diferencias con respecto a la previa a la cirugía, por tanto no se hallaron empeoramientos y/o déficits neurológicos de nueva aparición.

137

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

137 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
 CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

Tabla 3. Intensidades de estímulo electrodo cilíndrico

Paciente	Intensidad de estímulo (mA)
1	12
2	15
3	12
4	14
5	9
6	8
7	23
8	19
9	18
10	14
11	21
12	16
13	19
14	19
15	19
16	14
17	17
18	10
19	11
20	15
21	11
22	13
23	10
24	16
25	20
26	17
27	13
28	22
29	9
30	14
31	21
32	16
33	13
34	13
35	21
36	15
37	12

mA: miliamperios.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN Fecha: 01/11/2020 21:19:04  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Victor Manuel García Marín 02/11/2020 09:07:17  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

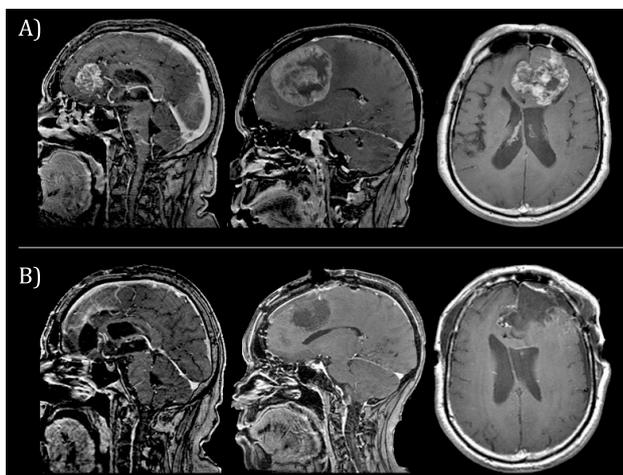
Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar Fecha: 09/12/2020 17:06:42  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

### ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

Se analizaron los protocolos quirúrgicos recogidos en las historias clínicas hospitalarias de cada paciente, no se contabilizaron sangrados subdurales intraoperatorios durante el posicionamiento del electrodo cilíndrico. En este mismo sentido, tampoco ocurrieron sangrados en relación al posicionamiento del strip subdural. El examen de las pruebas de neuroimagen postoperatorias de los pacientes de la serie no demostró complicaciones hemorrágicas y/o isquémicas relacionadas con la MNIO (Figura 23).



**Figura 23.** A: Imágenes de RM prequirúrgicas, B: Imágenes de RM postquirúrgicas. Se revisaron las pruebas de imagen postoperatorias para identificar posibles complicaciones relacionadas con la utilización del electrodo cilíndrico (sangrado/isquemia).

139

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

139 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

139 / 195

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

**Presentación de Casos Clínicos Ilustrativos**

Paciente 4

Paciente mujer de 50 años de edad intervenida previamente de un oligoastrocitoma grado III por el que además recibió tratamiento adyuvante con quimioterapia y radioterapia. La exploración neurológica previa a la cirugía era estrictamente normal y la lesión tumoral se localizaba en la corteza prefrontal derecha.

Una vez reabierto la craneotomía previa se deslizó el strip subdural perpendicularmente al surco central en el área motora de la mano hasta obtener la inversión de fase, lo que permitió localizar el cortex motor y dar comienzo a la monitorización del miembro superior contralateral. La presencia de edema y adherencias secundarias a los tratamientos previos, además de la presencia de venas puente no permitían aproximar un strip a la línea media, por lo que se introdujo un electrodo cilíndrico multicontacto en el espacio subdural interhemisférico.

El siguiente paso consistió en localizar la corteza sensitiva con el electrodo cilíndrico, a través del registro de mayor amplitud estimulando desde el nervio tibial contralateral. Una vez identificada la disposición del electrodo con respecto a la corteza motora (Figura 24), el contacto del electrodo que presentó un umbral más bajo para generar PEM mediante ECD fue identificado y seleccionado para continuar con la monitorización intraoperatoria.

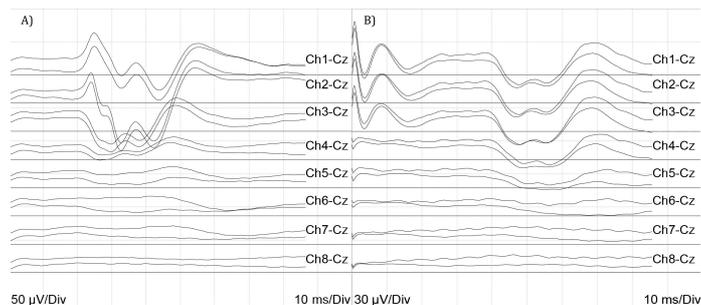
140

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

140 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
 CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**



**Figura 24.** A: Inversión de fase registrada con el strip subdural tras generar PESS desde el nervio mediano contralateral. B: PESS registrado con electrodo cilíndrico tras estimulación desde el nervio tibial posterior contralateral. La ausencia de inversión de fase en la corteza interhemisférica hace que la localización de la corteza sensitiva se apoye en la amplitud máxima del componente P37.

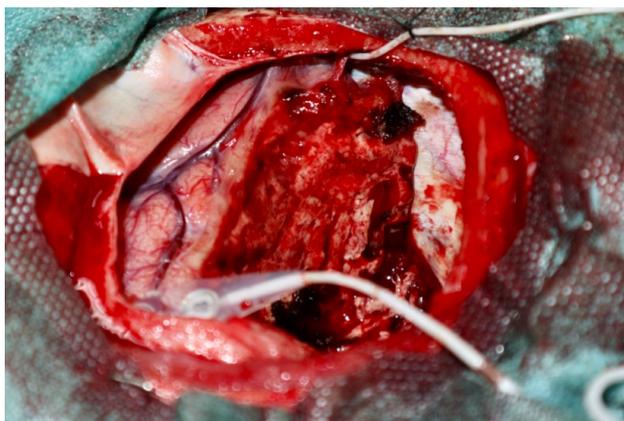
Finalmente, se llevó a cabo una resección completa de la lesión tumoral mientras se realizó MNIO con la combinación de la tira en la corteza motora de la mano y el electrodo de cilíndrico en el cortex motor del miembro inferior (Figura 25). La intensidad de estímulo empleada en este caso para generar los PEM del miembro inferior fue de 14 mA. No ocurrieron warnings durante el procedimiento y no aparecieron déficits neurológicos nuevos después de la

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

cirugía. La RM craneal postquirúrgica no demostró la presencia de sangrado subdural y/o complicaciones isquémicas.



**Figura 25.** Fotografía intraoperatoria realizada una vez se completó la resección tumoral. En primer plano se visualiza el strip subdural posicionado en la convexidad lateral, y en segundo plano el electrodo cilíndrico y la hoz cerebral. El intenso edema y adherencias tisulares que se encontraron al inicio del procedimiento no posibilitaron la aproximación del strip subdural a línea media.

142

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

142 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

Paciente 30

Paciente varón de 51 años de edad que se sometió a cirugía cerebral para el tratamiento de una malformación arteriovenosa (MAV) parasagital frontal derecha. La exploración neurológica previa a la cirugía fue estrictamente normal y la angiografía cerebral diagnóstica demostró una MAV dependiente de la ACA.

Una vez realizada la craneotomía el strip subdural se posicionó sobre la convexidad de la corteza para monitorizar la función motora del miembro superior izquierdo, no consiguiéndose evocar respuestas motoras con otro strip aproximado a la línea media. Entonces el electrodo cilíndrico se deslizó de forma segura a través de la cisura interhemisférica, evitando dañar venas puente y vasos aberrantes de la MAV.

Uno de los pasos críticos de la intervención consistió en clipar una arteria aferente a la MAV, procedente de la arteria pericallosa (rama de la ACA). Para realizar este paso con seguridad se llevó primero un clipaje temporal de dicho vaso aferente, mientras se monitorizaba la integridad del tracto corticoespinal de la pierna con los PEM generados gracias electrodo cilíndrico (Figura 26).

La intensidad de estímulo necesaria para generar los PEM del miembro inferior mediante ECD fue de 14 mA. No se produjeron warnings durante el procedimiento y no se encontraron déficits neurológicos después de la cirugía. La resonancia magnética postquirúrgica tampoco mostró complicaciones.

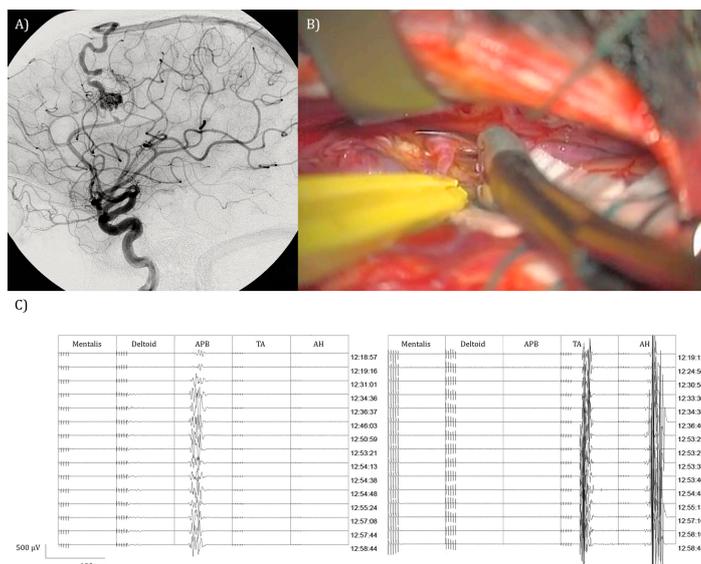
143

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

143 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
 CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**



**Figura 26.** A: Angiografía cerebral preoperatoria de circulación anterior derecha donde se aprecia MAV dependiente de la ACA. B) Fotografía intraoperatoria del momento en el que se realiza el clipaje temporal del vaso aferente. C) MNIO con PEM de la extremidad contralateral superior (izquierda) e inferior (derecha) con el strip subdural y el electrodo cilíndrico, respectivamente. El registro no mostró deterioro de MEP durante el recorte temporal de una arteria de alimentación de malformación arteriovenosa. APB: Abductor Pollicis Brevis; TA: tibial anterior; AH: Abductor Hallucis.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uN0QAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN Fecha: 01/11/2020 21:19:04  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Victor Manuel García Marín 02/11/2020 09:07:17  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguilar Fecha: 09/12/2020 17:06:42  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

145 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

## DISCUSIÓN

146

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

146 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

146 / 195



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

## 12. DISCUSIÓN

Este estudio observacional, retrospectivo y descriptivo de una serie de casos documenta nuestra experiencia empleando un electrodo cilíndrico multicontacto para realizar MNIO. Concretamente, su posicionamiento en el espacio interhemisférico posibilita obtener un registro intraoperatorio continuo de PEM de los miembros inferiores mediante ECD.

La MNIO es una herramienta que aporta seguridad al paciente durante las cirugías, desempeñando un papel esencial en la neurocirugía moderna. Las técnicas neurofisiológicas actuales posibilitan la localización de áreas elocuentes y/o la detección de modificaciones en la función neurológica durante distintos procedimientos quirúrgicos (7, 8). El empleo de la neuromonitorización intraoperatoria se ha extendido a la mayoría de centros neuroquirúrgicos rápidamente en las dos últimas décadas, el desarrollo tecnológico, el surgimiento de nuevas técnicas y la evidencia científica existente en cuanto a su utilidad, son algunos de los factores que lo justifican.

De forma específica, la cirugía cerebral sobre lesiones malignas la MNIO posibilita alcanzar mayores tasas de resección tumoral, al mismo tiempo que reduce la aparición de nuevos déficits neurológicos en el enfermo (1, 2). Asimismo, en la cirugía cerebral vascular también se documenta la utilidad de la MNIO en la detección del daño neurológico postquirúrgico (16, 38-44). Está demostrado que la aparición de nuevos déficits neurológicos tras la intervención

148

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

148 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

quirúrgica tendrá un impacto negativo en la calidad de vida del paciente y en su supervivencia (3-6).

Tal y como se comentó anteriormente, existen diversos factores que dificultan enormemente la realización de ensayos clínicos aleatorizados en el ámbito de la MNIO, limitando así el nivel de evidencia alcanzado. No obstante, la evidencia actual revela que la mayor sensibilidad y especificidad en la detección de déficits neurológicos la proporcionan los PEM (9-12), obtenidos mediante ECD (15, 145-148). Por otra parte, la bibliografía actual expone una baja tasa de éxito de monitorización de PEM de los miembros inferiores mediante ECD con el strip subdural, además en ningún caso estos se obtienen estimulando directamente desde la corteza motora interhemisférica (9, 16, 20-22). Conseguir un registro válido y continuo de la función neurológica de los miembros inferiores cobra especial importancia en aquellas situaciones en las que puede dañarse la corteza medial de M1, a pesar de no encontrarse expuesta directamente durante la cirugía. Este es el motivo fundamental para recurrir al electrodo cilíndrico como herramienta neurofisiológica intraoperatoria.

En los pacientes que componen esta serie se pueden diferenciar dos escenarios diferentes: a) aquellos que presentan lesiones tumorales perirrolándicas adyacentes o con extensión a la línea media cerebral: en ellas existe la posibilidad de ocasionar una lesión vascular directa sobre la ACA y/o sus ramas, y además se puede producir un daño directo sobre la vía corticoespinal durante la resección profunda de la lesión; y b) aquellos que son intervenidos de lesiones vasculares que dependen de la ACA, o en las que su

149

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

149 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

territorio vascular puede verse afectado secundariamente (por ejemplo durante el clipaje temporal de la arteria carótida interna en una cirugía sobre un aneurisma de la arteria cerebral media).

Como ya hemos señalado, en la cirugía que tiene lugar a nivel supratentorial la MNIO basada en ECD presenta una serie de ventajas frente a la EET: es más focal y emplea unos umbrales de estimulación más bajos, el registro tiene un carácter continuo dada la ausencia de movimientos bruscos en el paciente durante la cirugía (13, 17, 18, 20). Aunque los parámetros de estimulación que se emplean en la EET posibilitan estimular distalmente los tractos motores sin atravesar la corteza motora a monitorizar, su inferioridad teórica para la detección de daño postoperatorio no se ha demostrado hasta la fecha a pesar del creciente número de publicaciones que apuntan en este sentido (14, 15, 145-148). No obstante, la ECD también presenta algunas desventajas con respecto a la EET, como es el caso de de una mayor tasa de crisis comiciales intraoperatorias (1% vs. <0.01%) (110), y el riesgo de sangrado venoso asociado a la colocación del strip subdural (16, 20).

Con respecto a las crisis epilépticas intraoperatorias, algunos autores han tratado de identificar cuáles son los factores clínicos que hacen a un paciente más propenso a presentarlas en el contexto de la estimulación cortical (149, 155). La caracterización de estos pacientes permitiría reconocerlos preoperatoriamente y así disminuir la probabilidad de crisis al pautar medicación anticomicial profiláctica. A este respecto, se han definido dos factores

150

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

150 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

de riesgo: a) estimulación eléctrica con baja frecuencia, especialmente cuando se realiza mapping en áreas elocuentes en pacientes con patología maligna difusa (gliomas de bajo grado mayoritariamente); y b) antecedentes personales de epilepsia (149, 155). Cuando las crisis epilépticas aparecen durante una intervención quirúrgica con el paciente despierto, sin defensa de la vía aérea, estas tienen mayor repercusión además de dificultar la continuación de las técnicas neurofisiológicas (por ejemplo el mapping cerebral). En resumen, generalmente no se recomienda realizar profilaxis antiepiléptica en aquellos pacientes que no tengan antecedentes personales de epilepsia, ni tampoco en los que el registro de MNIO se obtenga con la técnica de estimulación multipulso.

Todos los pacientes de la serie se sometieron a anestesia general (TIVA) para la cirugía. A este respecto, ninguno de los pacientes del estudio recibió tratamiento profiláctico antimicrobial, mientras que el 16,2% del total de pacientes se encontraba tomando FAEs en el momento de la intervención al haber presentado crisis epilépticas con anterioridad. El análisis de las historias clínicas hospitalarias y de los registros de ECoG intraoperatorios descartaron la presencia de crisis epilépticas intraoperatorias y/o after-discharges secundarios a la ECD. A pesar del pequeño número de pacientes de la serie, estos hallazgos van en consonancia con los resultados publicados por otros grupos que revelan un bajo riesgo de crisis comiciales con la técnica multipulso.

151

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

151 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

La relevancia actual que han adquirido los PEM se fundamenta en la constatación de que los PESS pueden no detectar daño sobre la corteza y/o sobre las vías corticoespinales motoras (116-121), siendo los PEM más sensibles para la detección del déficit motor postoperatorio (9-12). Sin embargo, en virtud de que el área de los miembros inferiores de M1 se localiza en la profundidad de la cisura interhemisférica, habitualmente se selecciona el área de la mano en la convexidad lateral cerebral para posicionar el strip subdural durante la MNIO en cirugía supratentorial. No obstante, de esta forma se estaría excluyendo del registro al territorio vascular de la ACA, fundamentalmente en intervenciones quirúrgicas sobre patología tumoral en área perirrolándica y/o en cirugía vascular cerebral (22).

Pocos estudios abordan de forma específica esta difícil cuestión, sin embargo documentan una baja tasa de éxito de en torno al 55% para obtener PEM de los miembros inferiores mediante ECD (9, 20-22). Además, ha de tenerse en cuenta la posibilidad de que exista un mayor número de falsos negativos relacionados con la dispersión subcortical del estímulo eléctrico; toda vez que el strip no se posiciona directamente sobre la corteza motora del miembro inferior sino adyacente a la línea media cerebral (22). En condiciones normales, el posicionamiento del strip subdural en la convexidad cerebral se relaciona con un 1,3-2% de riesgo de provocar sangrado venoso proveniente de las venas puente, sin que se haya documentado ninguna complicación clínica derivada de este hecho (16, 20). Por su parte, la retracción del hemisferio cerebral de la línea

152

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

152 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

media para posicionar strips o grids de electrodos se vincula a la aparición de complicaciones isquémicas y hemorrágicas subdurales (126, 150, 151).

Considerando todo lo anterior, la flexibilidad y pequeño diámetro del cilindro le permiten alcanzar el espacio interhemisférico y deslizarse con suavidad sobre la superficie cerebral, convirtiéndolo en la herramienta idónea para obtener PEM de los miembros inferiores. No obstante, algunas dificultades técnicas inherentes a la MNIO se acrecientan empleando este tipo de electrodo a distancia en el espacio interhemisférico. Así, por ejemplo, la localización del surco central puede verse especialmente dificultada, por lo que la técnica de la inversión de fase desempeña un papel crucial en la metodología como describiremos a continuación. Además, la superficie más pequeña de este tipo de electrodo requiere en algunos casos de múltiples esfuerzos de reposicionamiento hasta lograr un buen contacto en la superficie cerebral. Creemos que es importante que el electrodo disponga de al menos 8 contactos, un menor número de ellos podría aumentar el tiempo necesario para iniciar la monitorización.

A pesar de las dificultades técnicas, la experiencia adquirida durante estos años con el uso del electrodo nos ha revelado algunos aspectos metodológicos que consideramos útiles para la mitigación de estos problemas. En primer lugar, cuando iniciamos el posicionamiento del electrodo cilíndrico solo desacoplamos 1-2 cm el estilete semirrígido que se encuentra por defecto en su interior, de esta manera podemos mantener el control direccional del mismo mientras se conduce hacia la cisura interhemisférica, proporcionando en la punta la

153

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

153 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

flexibilidad que asegura su introducción segura. Al mismo tiempo que el electrodo se desliza suavemente sobre la superficie cerebral bajo irrigación con suero salino, el estilete se retira progresivamente. En segundo lugar, la punta del electrodo se dirige contra la falx cerebri con un ángulo que posibilite que este se deslice tangencialmente a la misma en la dirección deseada. Finalmente, tomamos como referencia la localización del surco central con el strip subdural en el área sensitivo-motora de la mano, para conocer la distancia a la que debemos introducir el electrodo cilíndrico en el espacio subdural interhemisférico. Creemos que este último punto reviste especial importancia al aumentar considerablemente la exactitud del posicionamiento del electrodo cilíndrico. Como ya mencionamos, la localización del surco central con el strip subdural se ve facilitada por referencias anatómicas (patrón de venas corticales, relación entre surcos cerebrales...), neurofisiológicas (electrodos scalp) y/o sistemas de neuronavegación. En ninguno de los pacientes que componen el estudio se contabilizaron sangrados subdurales intraoperatorios. Tampoco se registraron sangrados postquirúrgicos relacionados con la colocación del electrodo, tras haber revisado minuciosamente las historias clínicas y las pruebas de imagen postoperatorias.

En otro orden de ideas, la ECD no solamente puede ocasionar daño estructural mecánico secundario al posicionamiento de los electrodos subdurales, la propia estimulación eléctrica también puede ser el origen de una lesión en el tejido nervioso.

154

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

154 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

A pesar de que los breves trenes de pulsos monofásicos que se emplean en este tipo de monitorización se consideran seguros, la menor área de superficie de contacto del electrodo cilíndrico podría tener implicaciones en este sentido. Al mecanismo por el cual un exceso de estimulación eléctrica origina daño en las células del sistema nervioso se le conoce como "excitotoxicidad". El limitado conocimiento que tenemos sobre este mecanismo se basa fundamentalmente en estudios experimentales que consisten en modelos animales y parámetros de estimulación eléctrica muy similares a los que se utilizan en neuromodulación (156, 157). De ellos se extrae que los pulsos eléctricos continuos a baja frecuencia (50 Hz), mantenidos durante horas, producen daño histológico. Estos trabajos consiguieron determinar dos factores que desempeñan un papel fundamental en la excitotoxicidad que podríamos definir iatrogénica: a) la carga empleada en cada pulso y b) la densidad de carga. Ambos parámetros determinan en gran medida cuál es el umbral de lesión tisular, de tal manera que por debajo de este umbral la corteza cerebral tolerará la estimulación de forma indefinida, mientras que por encima la severidad del daño aumentará con el tiempo de excitación. En el año 1990 McCreery et al. realizó un experimento que consistió en estimular durante horas el cortex cerebral de gatos adultos, aplicando una frecuencia única de 50 Hz y utilizando pulsos de corriente bifásica con un ancho de pulso de 0,4 ms (157). De este estudio surgió como resultado la recomendación actual de no exceder un límite superior de densidad de carga de  $30 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ . Sin embargo, un estudio realizado en las mismas fechas demostró que se podía aplicar de forma segura una densidad de carga de  $1.600 \mu\text{C}/\text{cm}^2$

155

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

155 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

siempre que la carga por fase no aumentase  $0.0032 \mu\text{C}/\text{cm}^2$  (158). Dos años más tarde, Shannon desarrollaría una ecuación que permite definir los parámetros que pueden ser dañinos para el sistema nervioso central (Figura 27). Lo hizo relacionando dos parámetros para la estimulación eléctrica pulsada: densidad de carga por fase o  $D$  ( $\mu\text{C}/(\text{fase} \cdot \text{cm}^2)$ ) y carga por fase o  $Q$  ( $\mu\text{C}/\text{fase}$ ) con un parámetro adimensional  $k$ . (Figura 29). De acuerdo con estos criterios, los parámetros de estimulación que arrojen  $k \geq 1,85$  (el valor más bajo donde se observó daño en los dos estudios referenciados en la publicación original de Shannon) podrían causar daño al tejido nervioso adyacente. Esta ecuación tiene la ventaja de ser simple pero al mismo tiempo presenta la limitación de solo poder aplicarse a los parámetros de estimulación empleados por McCreery et al. en su estudio (159).

$$\log(D) = k - \log(Q)$$

**Figura 27.** Shannon describió el límite entre los niveles de estimulación eléctrica dañinos y no dañinos del tejido publicados por McCreery et al.  $D$ : densidad de carga,  $Q$ : carga por fase,  $k$ : parámetro adimensional.

156

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

156 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

No obstante, la relevancia actual de estos dos parámetros para el tipo de estimulación eléctrica en forma de breves trenes de impulsos que se realiza en MNIO es muy cuestionable. Otros factores que pueden influir de modo significativo en el daño tisular son la frecuencia del pulso, el ciclo de trabajo y la densidad de corriente. El empleo de pulsos intermitentes de duración extremadamente breve disminuye significativamente la excitabilidad neuronal, al tiempo que se aleja de los modelos experimentales empleados en la década de 1990 (160). En este mismo sentido, en la literatura científica se documenta la utilización de parámetros de carga por pulso y de densidad de carga que exceden ampliamente el umbral de lesión experimental con ausencia de daño clínico y/o histológico, tanto utilizando la técnica de estimulación de Penfield como la técnica multipulso con la intención de generar PEM (110, 156, 161).

En el caso concreto de nuestro estudio, teniendo en cuenta que cada contacto presenta un diámetro de 1,1 mm y una longitud de 3 mm, la superficie de medio contacto del electrodo cilíndrico es de  $\approx 0.05 \text{ cm}^2$ . Si tomamos la intensidad media empleada de 15 mA y el ancho de pulso de 500  $\mu\text{s}$ , la carga media fue de  $\approx 7,5 \text{ mC}$ . Por tanto, la densidad de carga media utilizada fue aproximadamente  $150 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ .

La American Society of Neurophysiological Monitoring publica de forma periódica en la revista oficial de la Federación Internacional de Neurofisiología Clínica (Clinical Neurophysiology), sus guías en MNIO (58). La última actualización acerca del registro intraoperatorio de PEM tuvo lugar en 2013, en ella constatan la ausencia de un umbral conocido de lesión tisular con la técnica

157

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

157 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

de la multipulso. Igualmente, identifican aquellos trabajos que aplicaron parámetros de carga y de densidad de carga superiores al límite de daño tisular definido, en ninguno de ellos se describieron complicaciones relacionadas con la estimulación.

En la actualidad, estamos asistiendo a un creciente número de publicaciones que demuestran seguridad con el empleo de valores de estimulación más elevados y/o de electrodos con superficies más pequeñas (microelectrodos), cuestionando así los límites descritos en la década de 1990 (154, 160). Un buen ejemplo de esta realidad lo constituye la estimulación cerebral profunda, en la que para una superficie de contacto de tan solo 0,06 cm<sup>2</sup> se recomienda no sobrepasar un límite máximo de 30 mA de intensidad de corriente (162). Además, el desarrollo de electrodos y superficies de contacto más pequeñas (electrodos direccionables), y la utilización de parámetros de estimulación más elevados (densidades de carga de 200 µC/cm<sup>2</sup>), permiten obtener beneficios clínicos en los pacientes de forma segura (160). En cualquier caso, a pesar de la ausencia de un umbral de daño tisular definido con la técnica multipulso, los parámetros de estimulación empleados en este estudio se mantuvieron siempre por debajo de los previamente publicados por otros grupos y considerados como seguros (Figura 28) (58). Ninguno de los 37 pacientes en el estudio desarrolló clínica neurológica deficitaria, presentó lesiones isquémicas en las pruebas de imagen y/o complicaciones epilépticas intraoperatorias.

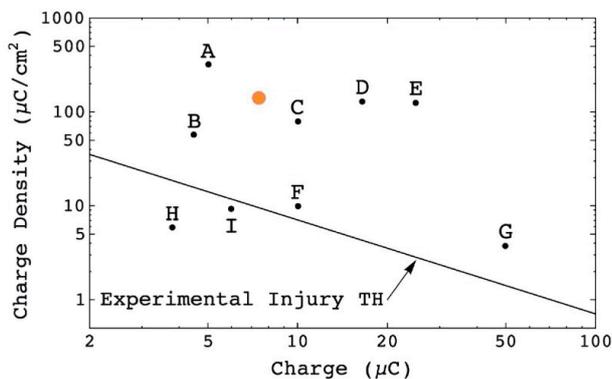
158

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

158 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
 CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**



**Figura 28.** Gráfica (ecuación de Shannon) en la que se relacionan los valores máximos publicados de carga y densidad de carga cortical para generar PEM, con el umbral de lesión excitotóxica (TH) en animales de experimentación. En naranja se representa el valores medio utilizado en nuestro estudio. A) MacDonald, 2002 ; B) Gordon et al., 1990; C), Sala y Lanteri, 2003; D) Szelényi et al., 2005; E) Yamamoto et al., 2004; F) Taniguchi et al., 1993; G) MacDonald, 2002; (H, I) MacDonald, 2002. (MacDonald et al. *Intraoperative motor evoked potential monitoring - a position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. Clinical Neurophysiology. 2013*)

Los pacientes que constituyen esta serie fueron intervenidos quirúrgicamente al presentar patología tumoral o vascular, considerándose necesario desde el equipo neuroquirúrgico monitorizar continuamente la integridad funcional del cortex motor del miembro inferior. Ninguna de las lesiones quirúrgicas se localizaban directamente sobre dicha corteza motora, por tanto, el acceso al

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

espacio interhemisférico no se encontraba justificado, al menos desde el inicio de la intervención. Por tanto, no se consideró la posibilidad de realizar mapping cortical con una sonda manual, tomando en consideración los riesgos asociados a la maniobra de retracción hemisférica y/o la distancia existente desde la craneotomía. Esta circunstancia, unida a la imposibilidad de obtener respuestas motoras en el miembro inferior con el strip, es la que justificó el uso del electrodo cilíndrico en los pacientes del estudio.

Por otro lado, hay que señalar que 7 pacientes presentaban clínica neurológica deficitaria antes de la cirugía, pero ningún paciente del estudio sufrió empeoramiento y/o desarrolló un nuevo déficit neurológico de vías largas sensitivo-motoras. Consideramos que la confluencia de cuatro factores podrían explicar este hallazgo: a) se trata de una muestra relativamente pequeña de pacientes; b) a pesar de que las lesiones tumorales se encontraban adyacentes o con extensión hacia la línea media cerebral, en ningún caso se situaron directamente sobre M1 y en el grupo de lesiones frontales estas tomaron asiento en la región prefrontal en su inmensa mayoría (85%); c) un número bajo de cirugías vasculares, todas ellas electivas y sin complicaciones; y d) se dispuso de la estimulación subcortical como técnica complementaria en todos los casos, minimizando aún más los riesgos de daño en la vía corticoespinal durante la resección en profundidad. Con respecto a este último punto, es difícil valorar su impacto real en los resultados clínicos de los pacientes de la serie puesto que no se registró su empleo. En cualquier caso, en el periodo que se realizó el estudio el

160

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

160 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

mapping subcortical implicaba detener la cirugía, todavía no disponíamos del aspirador-sonda de estimulación, y su uso no se encontraba tan extendido como en el momento actual.

Creemos que el grupo de pacientes que podría beneficiarse en mayor medida de este método de registro neurofisiológico son precisamente aquellos que presentan las mismas características clínicas que los que componen la serie: craneotomía supratentorial, lesión vascular (aneurisma o MAV) en la que pueda verse afectado el territorio de la ACA y patología tumoral con localización distinta a M1 cuya resección en profundidad puede afectar a los tractos corticoespinales o en la que puede afectarse la ACA o sus ramas por manipulación directa (Figuras 29 y 30).

Este estudio retrospectivo de una serie de casos tiene como finalidad validar un nuevo método diagnóstico en MNIO. En este sentido, se ha analizado la viabilidad del electrodo cilíndrico para obtener de una forma segura y consistente registros de PEM de los miembros inferiores. Ninguno de los pacientes de esta serie presentó eventos neurofisiológicos intraoperatoriamente (warning) ni déficits neurológicos postoperatorios, por lo que sería aconsejable realizar un estudio con una muestra mayor de pacientes para así poder documentar su efectividad. Además del tamaño muestral, otras limitaciones del estudio son inherentes al análisis de datos de tipo retrospectivo.

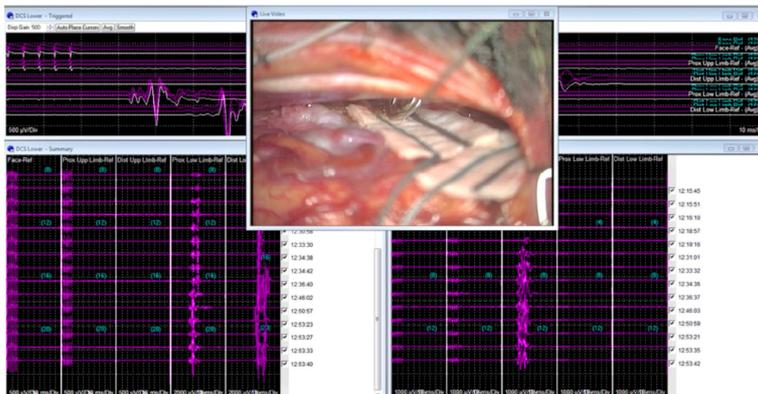
161

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

161 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguilár UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
 CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**



**Figura 29.** Imagen correspondiente a la interfaz del sistema de MNIO. En el cuadrante inferior izquierdo se dispone del registro de PEM de la extremidad inferior obtenido con el electrodo cilíndrico, en el cuadrante inferior derecho el registro de PEM del miembro superior con el strip subdural. Una ventana informática (centro-superior de la imagen) transmite imágenes en tiempo real desde el microscopio quirúrgico, permitiendo a los neurofisiólogos correlacionar los hallazgos de la MNIO durante el avance de la cirugía. En la imagen del microscopio se visualiza el electrodo cilíndrico suturado a la duramadre (primer plano, esquina superior-izquierda), y el nido vascular de la MAV y el clip temporal (segundo plano, centro).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uN0QAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN Fecha: 01/11/2020 21:19:04  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

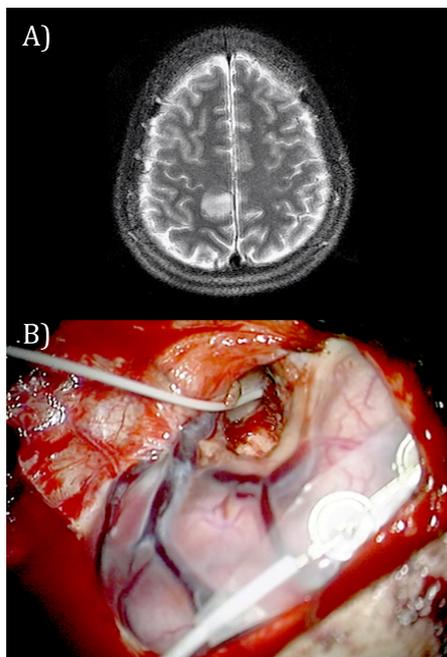
Victor Manuel García Marín 02/11/2020 09:07:17  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
 Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguilera Fecha: 09/12/2020 17:06:42  
 UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**



**Figura 30.** Imágenes del Paciente 29. A) RM craneal donde se observa una tumoración de aspecto glial parasagital derecha localizada en la corteza sensitiva. B) Fotografía intraoperatoria realizada al término de la cirugía visualizándose el electrodo cilíndrico posicionado en el espacio interhemisférico y el strip sobre la corteza sensitivo-motora de la mano. La flexibilidad, morfología cilíndrica y pequeño diámetro del electrodo profundo le permite alcanzar el espacio interhemisférico con facilidad, obteniéndose un registro continuo mientras se lleva a cabo la resección tumoral.

163

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

163 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

163 / 195

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

A la luz de los resultados del presente estudio, la combinación del strip subdural (área de la mano) con el electrodo cilíndrico (área del miembro inferior) posibilita obtener un registro completo y continuo de la función motora del hemicuerpo contralateral. Las principales ventajas de esta metodología son que el registro de PEM de los miembros inferiores se obtiene en casos donde no es posible con el strip subdural, además de disminuir posibles falsos negativos al obtenerse directamente desde la corteza interhemisférica.

164

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

164 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

165 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

## Conclusiones

166

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

166 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

166 / 195



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

167 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

### 13. CONCLUSIONES

1. La evidencia actual señala a los potenciales evocados motores, obtenidos mediante **estimulación cortical directa**, como la herramienta neurofisiológica intraoperatoria más efectiva en la detección del déficit motor postquirúrgico.
2. En la literatura científica se describen **serias dificultades** para la obtención de potenciales evocados motores de los miembros inferiores.
3. No se ha descrito con anterioridad **ningún método** para realizar monitorización neurofisiológica intraoperatoria de los miembros inferiores estimulando directamente desde la corteza interhemisférica.
4. La utilidad del electrodo cilíndrico profundo en el contexto de la monitorización neurofisiológica intraoperatoria **no está documentada** en la literatura científica.
5. El electrodo cilíndrico multicontacto posibilita la obtención de potenciales evocados motores de miembros inferiores de forma **segura y consistente**.
6. Este tipo de electrodo supone una **alternativa** valiosa para realizar estimulación cortical directa desde la cisura interhemisférica, donde el strip subdural no accede con facilidad.

168

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

168 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

7. La metodología de estimulación cortical directa que se describe en este estudio, en la que se **combina** el strip subdural (área motora de la mano) con el electrodo cilíndrico (área motora del miembro inferior), permite obtener un control continuo y completo de la función motora del hemisferio contralateral.
8. El **grupo de pacientes** que podría beneficiarse en mayor medida del método de registro intraoperatorio descrito en estudio son aquellos que presentan patologías cerebrales que afectan el territorio vascular de la arteria cerebral anterior.
9. Para establecer de forma definitiva la efectividad del electrodo cilíndrico para la detección del déficit motor postquirúrgico en miembros inferiores, sería recomendable realizar un estudio con una serie con **mayor número de pacientes**.

169

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

169 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

169 / 195

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

### 13. CONCLUSIONS

1. Current evidence points to evoked motor potentials, obtained by direct cortical stimulation, as the most effective intraoperative neurophysiological tool in the detection of post-surgical motor deficit.
2. In the scientific literature serious difficulties are described in obtaining potentials evoked engines of the lower limbs.
3. No method has been previously described for intraoperative neurophysiological monitoring of the lower limbs directly stimulated from the interhemispheric cortex.
4. The usefulness of the depth cylindrical electrode in the context of intraoperative neurophysiological monitoring is not documented in the scientific literature.
5. Lower extremity motor evoked potentials were safely and consistently recorded using a multi-contact cylindrical depth electrode in the interhemispheric fissure.
6. Cylindrical depth electrodes may be a safe and effective alternative for direct cortical stimulation in the interhemispheric fissure, where subdural strips are difficult to place.

170

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

170 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

7. The methodology based on direct cortical stimulation described in this study, in which the subdural strip (motor area of the hand) is combined with the cylindrical electrode (motor area of the lower limb), allows continuous and complete control of the motor function of the entire contralateral hemibody.
8. The group of patients who could benefit most from the intraoperative registration method described in the study are those with brain pathologies that affect the vascular territory of the anterior cerebral artery.
9. In order to establish definitively the effectiveness of the cylindrical electrode for the detection of post-surgical motor deficit in lower limbs, it would be advisable to conduct a study with a large number of patient.

171

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

171 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

172 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS

## Bibliografía

173

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

173 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

173 / 195



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

174 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

**Bibliografía**

1. Duffau H, Lopes M, Arthuis F, Bitar A, Sichez JP, Van Effenterre R, et al. Contribution of intraoperative electrical stimulations in surgery of low grade gliomas: a comparative study between two series without (1985-96) and with (1996-2003) functional mapping in the same institution. J Neurol Neurosurg Psychiatry. 2005;76(6):845-51.
2. De Witt Hamer PC, Robles SG, Zwinderman AH, Duffau H, Berger MS. Impact of intraoperative stimulation brain mapping on glioma surgery outcome: a meta-analysis. J Clin Oncol. 2012;30(20):2559-65.
3. McGirt MJ, Mukherjee D, Chaichana KL, Than KD, Weingart JD, Quinones-Hinojosa A. Association of surgically acquired motor and language deficits on overall survival after resection of glioblastoma multiforme. Neurosurgery. 2009;65(3):463-9; discussion 9-70.
4. Chaichana KL, Halthore AN, Parker SL, Olivi A, Weingart JD, Brem H, et al. Factors involved in maintaining prolonged functional independence following supratentorial glioblastoma resection. Clinical article. J Neurosurg. 2011;114(3):604-12.
5. Gulati S, Jakola AS, Nerland US, Weber C, Solheim O. The risk of getting worse: surgically acquired deficits, perioperative complications, and functional outcomes after primary resection of glioblastoma. World Neurosurg. 2011;76(6):572-9.

175

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

175 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

175 / 195

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

6. Rahman M, Abbatematteo J, Leo EKD, Kubilis PS, Vaziri S, Bova F, et al. The effects of new or worsened postoperative neurological deficits on survival of patients with glioblastoma. 2016;127(1):123.
7. Fehlings MG, Houldon D, Vajkoczy P. Introduction. Intraoperative neuro-monitoring: an essential component of the neurosurgical and spinal armamentarium. Neurosurg Focus. 2009;27(4):E1.
8. Tharin S, Golby A. Functional brain mapping and its applications to neurosurgery. Neurosurgery. 2007;60(4 Suppl 2):185-201; discussion -2.
9. Neuloh G, Schramm J. Monitoring of motor evoked potentials compared with somatosensory evoked potentials and microvascular Doppler ultrasonography in cerebral aneurysm surgery. J Neurosurg. 2004;100(3):389-99.
10. Quinones-Hinojosa A, Alam M, Lyon R, Yingling CD, Lawton MT. Transcranial motor evoked potentials during basilar artery aneurysm surgery: technique application for 30 consecutive patients. Neurosurgery. 2004;54(4):916-24; discussion 24.
11. Horiuchi K, Suzuki K, Sasaki T, Matsumoto M, Sakuma J, Konno Y, et al. Intraoperative monitoring of blood flow insufficiency during surgery of middle cerebral artery aneurysms. J Neurosurg. 2005;103(2):275-83.
12. Thomas B, Guo D. The Diagnostic Accuracy of Evoked Potential Monitoring Techniques During Intracranial Aneurysm Surgery for Predicting Postoperative Ischemic Damage: A Systematic Review and Meta-Analysis. World Neurosurg. 2017;103:829-40.e3.

176

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

176 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

13. Rothwell J, Burke D, Hicks R, Stephen J, Woodforth I, Crawford M. Transcranial electrical stimulation of the motor cortex in man: further evidence for the site of activation. J Physiol. 1994;481 ( Pt 1):243-50.
14. Neuloh G, Schramm J. Are there false-negative results of motor evoked potential monitoring in brain surgery? Cent Eur Neurosurg. 2009;70(4):171-5.
15. Li F, Deshaies EM, Allott G, Canute G, Gorji R. Direct cortical stimulation but not transcranial electrical stimulation motor evoked potentials detect brain ischemia during brain tumor resection. Am J Electroneurodiagnostic Technol. 2011;51(3):191-7.
16. Maruta Y, Fujii M, Imoto H, Nomura S, Tanaka N, Inamura A, et al. Strategies and Pitfalls of Motor-Evoked Potential Monitoring during Supratentorial Aneurysm Surgery. J Stroke Cerebrovasc Dis. 2016;25(2):484-95.
17. Szelenyi A, Langer D, Beck J, Raabe A, Flamm ES, Seifert V, et al. Transcranial and direct cortical stimulation for motor evoked potential monitoring in intracerebral aneurysm surgery. Neurophysiol Clin. 2007;37(6):391-8.
18. Hemmer LB, Zeeni C, Bebawy JF, Bendok BR, Cotton MA, Shah NB, et al. The incidence of unacceptable movement with motor evoked potentials during craniotomy for aneurysm clipping. World Neurosurg. 2014;81(1):99-104.
19. Penfield W BE. Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation. Brain. 1937;60:389-443.
20. Szelenyi A, Kothbauer K, de Camargo AB, Langer D, Flamm ES, Deletis V. Motor evoked potential monitoring during cerebral aneurysm surgery: technical

177

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

177 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguilár UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

aspects and comparison of transcranial and direct cortical stimulation. Neurosurgery. 2005;57(4 Suppl):331-8; discussion -8.

21. Chen X, Sterio D, Ming X, Para DD, Butusova M, Tong T, et al. Success rate of motor evoked potentials for intraoperative neurophysiologic monitoring: effects of age, lesion location, and preoperative neurologic deficits. J Clin Neurophysiol. 2007;24(3):281-5.

22. Maruta Y, Fujii M, Imoto H, Nomura S, Oka F, Goto H, et al. Intra-operative monitoring of lower extremity motor-evoked potentials by direct cortical stimulation. Clin Neurophysiol. 2012;123(6):1248-54.

23. Talairach J, Bancaud J, Bonis A, Szikla G, Tournoux P. Functional stereotaxic exploration of epilepsy. Confin Neurol. 1962;22:328-31.

24. Spencer SS. Depth electroencephalography in selection of refractory epilepsy for surgery. Ann Neurol. 1981;9(3):207-14.

25. Gonzalez-Feria L, Garcia-Marin V. Sub-occipital approach for implantation of recording multi-electrodes over the medial surface of the temporal lobe. Acta Neurochir Suppl (Wien). 1993;58:190-2.

26. Garcia-Marin V, Gonzalez-Feria L. Depth electroencephalography in selection of refractory epilepsy for surgery. Our experience with the suboccipital approach. Neurol Neurochir Pol. 2000;34 Suppl 8:31-9.

27. Jacobs J, Zijlmans M, Zelmann R, Olivier A, Hall J, Gotman J, et al. Value of electrical stimulation and high frequency oscillations (80-500 Hz) in identifying epileptogenic areas during intracranial EEG recordings. Epilepsia. 2010;51(4):573-82.

178

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uN0QAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

178 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

28. Moles A, Guenot M, Rheims S, Berthiller J, Catenoux H, Montavont A, et al. SEEG-guided radiofrequency coagulation (SEEG-guided RF-TC) versus anterior temporal lobectomy (ATL) in temporal lobe epilepsy. *J Neurol.* 2018;265(9):1998-2004.
29. Wei PH, An Y, Fan XT, Wang YH, Yang YF, Ren LK, et al. Stereoelectroencephalography-Guided Radiofrequency Thermocoagulation for Hypothalamic Hamartomas: Preliminary Evidence. *World Neurosurg.* 2018;114:e1073-e8.
30. Bourdillon P, Rheims S, Catenoux H, Montavont A, Ostrowsky-Coste K, Isnard J, et al. Surgical techniques: Stereoelectroencephalography-guided radiofrequency-thermocoagulation (SEEG-guided RF-TC). *Seizure.* 2019.
31. Cuello Oderiz C, von Ellenrieder N, Dubeau F, Eisenberg A, Gotman J, Hall J, et al. Association of Cortical Stimulation-Induced Seizure With Surgical Outcome in Patients With Focal Drug-Resistant Epilepsy. *JAMA Neurol.* 2019.
32. Arle JE, Shils JL. Neurosurgical decision-making with IOM: DBS surgery. *Neurophysiol Clin.* 2007;37(6):449-55.
33. Deletis V, Sala F. Intraoperative neurophysiological monitoring of the spinal cord during spinal cord and spine surgery: a review focus on the corticospinal tracts. *Clin Neurophysiol.* 2008;119(2):248-64.
34. Sala F, Manganotti P, Grossauer S, Tramontano V, Mazza C, Gerosa M. Intraoperative neurophysiology of the motor system in children: a tailored approach. *Childs Nerv Syst.* 2010;26(4):473-90.

179

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

179 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

35. Simon MV, Chiappa KH, Kilbride RD, Rordorf GA, Cambria RP, Ogilvy CS, et al. Predictors of clamp-induced electroencephalographic changes during carotid endarterectomies. J Clin Neurophysiol. 2012;29(5):462-7.
36. Trinh VT, Fahim DK, Shah K, Tummala S, McCutcheon IE, Sawaya R, et al. Subcortical injury is an independent predictor of worsening neurological deficits following awake craniotomy procedures. Neurosurgery. 2013;72(2):160-9.
37. Nuwer M. Overview and history. In: Nuwer MR ed. Intraoperative Monitoring of Neural Function. Amsterdam: Elsevier. 2008:2-6.
38. Sahaya K, Pandey AS, Thompson BG, Bush BR, Minecan DN. Intraoperative monitoring for intracranial aneurysms: the Michigan experience. J Clin Neurophysiol. 2014;31(6):563-7.
39. Holdefer RN, MacDonald DB, Guo L, Skinner SA. An evaluation of motor evoked potential surrogate endpoints during intracranial vascular procedures. Clin Neurophysiol. 2016;127(2):1717-25.
40. Choi HH, Ha EJ, Cho WS, Kang HS, Kim JE. Effectiveness and Limitations of Intraoperative Monitoring with Combined Motor and Somatosensory Evoked Potentials During Surgical Clipping of Unruptured Intracranial Aneurysms. World Neurosurg. 2017;108:738-47.
41. Staarmann B, O'Neal K, Magner M, Zuccarello M. Sensitivity and Specificity of Intraoperative Neuromonitoring for Identifying Safety and Duration of Temporary Aneurysm Clipping Based on Vascular Territory, a Multimodal Strategy. World Neurosurg. 2017;100:522-30.

180

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

180 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

180 / 195

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

42. Chung J, Park W, Hong SH, Park JC, Ahn JS, Kwun BD, et al. Intraoperative use of transcranial motor/sensory evoked potential monitoring in the clipping of intracranial aneurysms: evaluation of false-positive and false-negative cases. 2018;130(3):936.
43. Guo D, Fan X, You H, Tao X, Qi L, Ling M, et al. Prediction of postoperative motor deficits using intraoperative motor-evoked potentials in middle cerebral artery aneurysm. Neurosurg Rev. 2020.
44. Kameda M, Hishikawa T, Hiramatsu M, Yasuhara T, Kurozumi K, Date I. Precise MEP monitoring with a reduced interval is safe and useful for detecting permissive duration for temporary clipping. Sci Rep. 2020;10(1):3507.
45. Howick J, Cohen BA, McCulloch P, Thompson M, Skinner SA. Foundations for evidence-based intraoperative neurophysiological monitoring. Clin Neurophysiol. 2016;127(1):81-90.
46. Ney JP, van der Goes DN. Comparative effectiveness analyses of intraoperative neurophysiological monitoring in spinal surgery. J Clin Neurophysiol. 2014;31(2):112-7.
47. Wiedemayer H, Fauser B, Sandalcioglu IE, Schafer H, Stolke D. The impact of neurophysiological intraoperative monitoring on surgical decisions: a critical analysis of 423 cases. J Neurosurg. 2002;96(2):255-62.
48. Fehlings MG, Brodke DS, Norvell DC, Dettori JR. The evidence for intraoperative neurophysiological monitoring in spine surgery: does it make a difference? Spine (Phila Pa 1976). 2010;35(9 Suppl):S37-46.

181

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

181 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

49. Skinner SA, Transfeldt EE, Mehbod AA, Mullan JC, Perra JH. Electromyography detects mechanically-induced suprasegmental spinal motor tract injury: review of decompression at spinal cord level. Clin Neurophysiol. 2009;120(4):754-64.
50. Charalampidis A, Jiang F, Wilson JRF, Badhiwala JH, Brodke DS, Fehlings MG. The Use of Intraoperative Neurophysiological Monitoring in Spine Surgery. Global Spine J. 2020;10(1 Suppl):104s-14s.
51. Plata Bello J, Perez-Lorensu PJ, Roldan-Delgado H, Brage L, Rocha V, Hernandez-Hernandez V, et al. Role of multimodal intraoperative neurophysiological monitoring during positioning of patient prior to cervical spine surgery. Clin Neurophysiol. 2015;126(6):1264-70.
52. Nuwer MR. Measuring outcomes for neurophysiological intraoperative monitoring. Clin Neurophysiol. 2016;127(1):3-4.
53. McCulloch P, Altman DG, Campbell WB, Flum DR, Glasziou P, Marshall JC, et al. No surgical innovation without evaluation: the IDEAL recommendations. Lancet. 2009;374(9695):1105-12.
54. Sandham JD, Hull RD, Brant RF, Knox L, Pineo GF, Doig CJ, et al. A randomized, controlled trial of the use of pulmonary-artery catheters in high-risk surgical patients. N Engl J Med. 2003;348(1):5-14.
55. Alfirevic Z, Devane D, Gyte GM. Continuous cardiotocography (CTG) as a form of electronic fetal monitoring (EFM) for fetal assessment during labour. Cochrane Database Syst Rev. 2006(3):Cd006066.

182

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

182 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

56. Ney JP, van der Goes DN, Watanabe JH. Cost-effectiveness of intraoperative neurophysiological monitoring for spinal surgeries: beginning steps. Clin Neurophysiol. 2012;123(9):1705-7.
57. Ney JP, Kessler DP. Neurophysiological monitoring during cervical spine surgeries: Longitudinal costs and outcomes. Clin Neurophysiol. 2018;129(11):2245-51.
58. Macdonald DB, Skinner S, Shils J, Yingling C. Intraoperative motor evoked potential monitoring - a position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. Clin Neurophysiol. 2013;124(12):2291-316.
59. Chu D, Bakaeen FG, Wang XL, LeMaire SA, Coselli JS, Huh J. Does the duration of surgery affect outcomes in patients undergoing coronary artery bypass grafting? Am J Surg. 2008;196(5):652-6.
60. Resnick DK, Anderson PA, Kaiser MG, Groff MW, Heary RF, Holly LT, et al. Electrophysiological monitoring during surgery for cervical degenerative myelopathy and radiculopathy. J Neurosurg Spine. 2009;11(2):245-52.
61. Crivellato E, Ribatti D. Soul, mind, brain: Greek philosophy and the birth of neuroscience. Brain Res Bull. 2007;71(4):327-36.
62. Adams ZM, Fins JJ. Penfield's ceiling: Seeing brain injury through Galen's eyes. Neurology. 2017;89(8):854-8.
63. Sutherland-Foggio H. Developing the Brain-Early Illustrations of Cerebral Cortex and Its Gyri. Pediatr Neurol. 2017;75:6-10.

183

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

183 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

64. Goodrich JT. Models of functional cerebral localization at the dawning of modern neurosurgery--a perspective on these remarkable events. World Neurosurg. 2014;81(2):300-1.
65. P B. Localisations des fonctions cérébrales. Siège de la faculté du langage articulé. Bull Soc Anthropol Paris. 1863;4:200-4.
66. de Almeida AN, Alho EJ, Teixeira MJ. Models of functional cerebral localization at the dawning of modern neurosurgery. World Neurosurg. 2014;81(2):436-40.
67. Broca P. Remarques sur le siège de la faculté du langage articulé, suivies d'une observation d'aphémie (perte de la parole). Bull Soc Anat. 1861;6:330-57.
68. Nasios G, Dardiotis E, Messinis L. From Broca and Wernicke to the Neuromodulation Era: Insights of Brain Language Networks for Neurorehabilitation. Behav Neurol. 2019;2019:9894571.
69. Poologaindran A, Lowe SR, Sughrue ME. The cortical organization of language: distilling human connectome insights for supratentorial neurosurgery. J Neurosurg. 2020:1-8.
70. R T. On the pathology and treatment of convulsive diseases. London Med Gaz. 1849;8:661-71, 724-9, 66-72, 815-22, 37-46.
71. Eadie MJ. The role of focal epilepsy in the development of jacksonian localization. J Hist Neurosci. 2009;18(3):262-82.
72. Schijns OE, Hoogland G, Kubben PL, Koehler PJ. The start and development of epilepsy surgery in Europe: a historical review. Neurosurg Rev. 2015;38(3):447-61.

184

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

184 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

73. Folzenlogen Z, Ormond DR. A brief history of cortical functional localization and its relevance to neurosurgery. *Neurosurg Focus*. 2019;47(3):E2.
74. Loukas M, Pennell C, Groat C, Tubbs RS, Cohen-Gadol AA. Korbinian Brodmann (1868-1918) and his contributions to mapping the cerebral cortex. *Neurosurgery*. 2011;68(1):6-11; discussion
75. Horsley V. The Linacre Lecture ON THE FUNCTION OF THE SO-CALLED MOTOR AREA OF THE BRAIN: Delivered to the Master and Fellows of St. John's College, Cambridge, May 6th, 1909. *Br Med J*. 1909;2(2533):121-32.
76. Breathnach CS. Eduard Hitzig, neurophysiologist and psychiatrist. *Hist Psychiatry*. 1992;3(11):329-38.
77. Hogan RE, Kaiboriboon K. John Hughlings-Jackson's writings on the auditory aura and localization of the auditory cortex. *Epilepsia*. 2004;45(7):834-7.
78. Sandrone S, Zanin E. David Ferrier (1843-1928). *J Neurol*. 2014;261(6):1247-8.
79. Alexander Hughes Bennett (1848-1901): Rickman John Godlee (1849-1925). *CA: A Cancer Journal for Clinicians*. 1974;24(3):169-70.
80. Louis RG, Schiff D, Shaffrey ME. The first reported localisation and resection of a brain tumour. *Lancet Oncol*. 2010;11(3):302.
81. Horsley V. Remarks on Ten Consecutive Cases of Operations upon the Brain and Cranial Cavity to Illustrate the Details and Safety of the Method Employed. *Br Med J*. 1887;1(1373):863-5.
82. Keen W. Three successful cases of cerebral surgery. *Am J Med Sci*. 1888;96:452-65.

185

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

185 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

83. Mills CK FC. The motor area of the human cerebrum, oits position and subdivisions, with some discussions of the surgery of this area. Univ Pennsylvana M Bull. 1905-1906;18:135-47.
84. Krause F. Chirurgie des Gehirns und Rückenmarks. Berlin: Urban & Schwarzenberg. 1911:228-30.
85. Cushing H. A note upon the faradic stimulation of the postcentral gyrus in conscious patients. Brain. 1909;32:44-53.
86. Pendleton C, Zaidi HA, Chaichana KL, Raza SM, Carson BS, Cohen-Gadol AA, et al. Harvey Cushing's contributions to motor mapping: 1902-1912. Cortex. 2012;48(1):7-14.
87. Leblanc R. Cushing, Penfield, and cortical stimulation. J Neurosurg. 2018;130(1):76-83.
88. Ladino LD, Rizvi S, Tellez-Zenteno JF. The Montreal procedure: The legacy of the great Wilder Penfield. Epilepsy Behav. 2018;83:151-61.
89. Feindel W. The contributions of Wilder Penfield to the functional anatomy of the human brain. Hum Neurobiol. 1982;1(4):231-4.
90. Gandhoke GS, Belykh E, Zhao X, Leblanc R, Preul MC. Edwin Boldrey and Wilder Penfield's Homunculus: A Life Given by Mrs. Cantlie (In and Out of Realism). World Neurosurgery. 2019;132:377-88.
91. Wilder Penfield TR. The cerebral cortex of man. The Macmillan Company, New York, NY. 1950.
92. Penfield WR, L. Speech and Brain Mechanisms. Princeton, NJ: Princeton University Press. 1959.

186

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

186 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

93. Gloor P, Olivier A, Quesney LF, Andermann F, Horowitz S. The role of the limbic system in experiential phenomena of temporal lobe epilepsy. *Ann Neurol.* 1982;12(2):129-44.
94. Duffau H. Hodotopy, neuroplasticity and diffuse gliomas. *Neurochirurgie.* 2017;63(3):259-65.
95. De Benedictis A, Duffau H. Brain hodotopy: from esoteric concept to practical surgical applications. *Neurosurgery.* 2011;68(6):1709-23; discussion 23.
96. Duffau H. Does post-lesional subcortical plasticity exist in the human brain? *Neurosci Res.* 2009;65(2):131-5.
97. Schieber MH. Constraints on somatotopic organization in the primary motor cortex. *J Neurophysiol.* 2001;86(5):2125-43.
98. Morishita T, Miki K, Inoue T. Penfield Homunculus and Recent Advances in Brain Mapping. *World Neurosurg.* 2020;134:515-7.
99. Fritsch G, Hitzig E. Electric excitability of the cerebrum (Über die elektrische Erregbarkeit des Grosshirns). *Epilepsy Behav.* 2009;15(2):123-30.
100. Ferrier D. On the Localisation of the Functions of the Brain. *Br Med J.* 1874;2(729):766-7.
101. Patton HD, Amassian VE. Single and multiple-unit analysis of cortical stage of pyramidal tract activation. *J Neurophysiol.* 1954;17(4):345-63.
102. Merton PA, Morton HB. Stimulation of the cerebral cortex in the intact human subject. *Nature.* 1980;285(5762):227.
103. Boyd SG, Rothwell JC, Cowan JM, Webb PJ, Morley T, Asselman P, et al. A method of monitoring function in corticospinal pathways during scoliosis sur-

187

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

187 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

187 / 195

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

gery with a note on motor conduction velocities. J Neurol Neurosurg Psychiatry. 1986;49(3):251-7.

104. Burke D, Hicks R, Stephen J, Woodforth I, Crawford M. Assessment of corticospinal and somatosensory conduction simultaneously during scoliosis surgery. Electroencephalogr Clin Neurophysiol. 1992;85(6):388-96.

105. Deletis V. Intraoperative monitoring of the functional integrity of the motor pathways. Adv Neurol. 1993;63:201-14.

106. Taniguchi M, Cedzich C, Schramm J. Modification of cortical stimulation for motor evoked potentials under general anesthesia: technical description. Neurosurgery. 1993;32(2):219-26.

107. Jones SJ, Harrison R, Koh KF, Mendoza N, Crockard HA. Motor evoked potential monitoring during spinal surgery: responses of distal limb muscles to transcranial cortical stimulation with pulse trains. Electroencephalogr Clin Neurophysiol. 1996;100(5):375-83.

108. Pechstein U, Cedzich C, Nadstawek J, Schramm J. Transcranial high-frequency repetitive electrical stimulation for recording myogenic motor evoked potentials with the patient under general anesthesia. Neurosurgery. 1996;39(2):335-43; discussion 43-4.

109. Rodi Z, Deletis V, Morota N, Vodusek DB. Motor evoked potentials during brain surgery. Pflugers Arch. 1996;431(6 Suppl 2):R291-2.

110. MacDonald DB. Safety of intraoperative transcranial electrical stimulation motor evoked potential monitoring. J Clin Neurophysiol. 2002;19(5):416-29.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

111. Hilibrand AS, Schwartz DM, Sethuraman V, Vaccaro AR, Albert TJ. Comparison of transcranial electric motor and somatosensory evoked potential monitoring during cervical spine surgery. *J Bone Joint Surg Am.* 2004;86(6):1248-53.
112. Sala F, Palandri G, Basso E, Lanteri P, Deletis V, Faccioli F, et al. Motor evoked potential monitoring improves outcome after surgery for intramedullary spinal cord tumors: a historical control study. *Neurosurgery.* 2006;58(6):1129-43; discussion -43.
113. Larson SJ, Sances A, Jr. Evoked potentials in man. Neurosurgical applications. *Am J Surg.* 1966;111(6):857-61.
114. Toleikis JR. Intraoperative monitoring using somatosensory evoked potentials. A position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. *J Clin Monit Comput.* 2005;19(3):241-58.
115. Romstöck J, Fahlbusch R, Ganslandt O, Nimsky C, Strauss C. Localisation of the sensorimotor cortex during surgery for brain tumours: feasibility and waveform patterns of somatosensory evoked potentials. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry.* 2002;72(2):221-9.
116. Krieger D, Adams HP, Albert F, von Haken M, Hacke W. Pure motor hemiparesis with stable somatosensory evoked potential monitoring during aneurysm surgery: case report. *Neurosurgery.* 1992;31(1):145-50.
117. Holland NR. Subcortical strokes from intracranial aneurysm surgery: implications for intraoperative neuromonitoring. *J Clin Neurophysiol.* 1998;15(5):439-46.

189

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

189 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

118. Lesser RP, Raudzens P, Luders H, Nuwer MR, Goldie WD, Morris HH, 3rd, et al. Postoperative neurological deficits may occur despite unchanged intraoperative somatosensory evoked potentials. *Ann Neurol*. 1986;19(1):22-5.
119. Ben-David B, Haller G, Taylor P. Anterior spinal fusion complicated by paraplegia. A case report of a false-negative somatosensory-evoked potential. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1987;12(6):536-9.
120. Chatrian GE, Berger MS, Wirth AL. Discrepancy between intraoperative SSEP's and postoperative function. Case report. *J Neurosurg*. 1988;69(3):450-4.
121. Dawson EG, Sherman JE, Kanim LE, Nuwer MR. Spinal cord monitoring. Results of the Scoliosis Research Society and the European Spinal Deformity Society survey. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1991;16(8 Suppl):S361-4.
122. Amunts K, Zilles K. Architectonic Mapping of the Human Brain beyond Brodmann. *Neuron*. 2015;88(6):1086-107.
123. M. P. Mapping prefrontal cortical systems for the control of cognition. In: Toga A, Mazziotta J, eds. *Brain Mapping: The Systems*. San Diego, CA: Academic Press. 2000:159-76.
124. Jumah FR, Dossani RH. Neuroanatomy, Cingulate Cortex. *StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing StatPearls Publishing LLC; 2020*.
125. Hall ACG, John E. *Textbook of medical physiology* (11th ed). Philadelphia: WB Saunders. 2005;pp. 687-90.
126. Wyllie E. *Wyllie's Treatment of Epilepsy*. Lippincott Williams & Wilkins. 2015;6th Edition.

190

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

190 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

127. Amassian VE. Animal and human motor system neurophysiology related to intraoperative monitoring. In: Deletis V SJ, editors. Neurophysiology in neurosurgery. San Diego: Academic Press; 2002. p. 3–23.
128. Davis FK, D. Principles of Neurophysiological Assessment, Mapping, and Monitoring. Springer: 2020.
129. Calancie B, Harris W, Brindle GF, Green BA, Landy HJ. Threshold-level repetitive transcranial electrical stimulation for intraoperative monitoring of central motor conduction. Journal of neurosurgery. 2001;95(2 Suppl):161-8.
130. Quiñones-Hinojosa A, Lyon R, Zada G, Lamborn KR, Gupta N, Parsa AT, et al. Changes in transcranial motor evoked potentials during intramedullary spinal cord tumor resection correlate with postoperative motor function. Neurosurgery. 2005;56(5):982-93.
131. Szelenyi A, Kothbauer KF, Deletis V. Transcranial electric stimulation for intraoperative motor evoked potential monitoring: Stimulation parameters and electrode montages. Clin Neurophysiol. 2007;118(7):1586-95.
132. Sloan TB JV. Anesthetic effects on evoked potentials. In: Nuwer M, editor. Intraoperative monitoring of neural function: handbook of clinical neurophysiology, vol 8 New York: Elsevier, 2008.
133. Haghghi SS, Madsen R, Green KD, Oro JJ, Kracke GR. Suppression of motor evoked potentials by inhalation anesthetics. J Neurosurg Anesthesiol. 1990;2(2):73-8.
134. Zentner J, Albrecht T, Heuser D. Influence of halothane, enflurane, and isoflurane on motor evoked potentials. Neurosurgery. 1992;31(2):298-305.

191

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

191 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

135. Sloan TB. Anesthetic effects on electrophysiologic recordings. J Clin Neurophysiol. 1998;15(3):217-26.
136. Aglio LS, Romero R, Desai S, Ramirez M, Gonzalez AA, Gugino LD. The use of transcranial magnetic stimulation for monitoring descending spinal cord motor function. Clin Electroencephalogr. 2002;33(1):30-41.
137. Kombos T, Suess O, Kern BC, Funk T, Hoell T, Kopetsch O, et al. Comparison between monopolar and bipolar electrical stimulation of the motor cortex. Acta Neurochir (Wien). 1999;141(12):1295-301.
138. Seidel K, Beck J, Stieglitz L, Schucht P, Raabe A. The warning-sign hierarchy between quantitative subcortical motor mapping and continuous motor evoked potential monitoring during resection of supratentorial brain tumors. J Neurosurg. 2013;118(2):287-96.
139. Wyler AR, Ojemann GA, Lettich E, Ward AA, Jr. Subdural strip electrodes for localizing epileptogenic foci. J Neurosurg. 1984;60(6):1195-200.
140. MacDonald DB, Dong C, Quatralo R, Sala F, Skinner S, Soto F, et al. Recommendations of the International Society of Intraoperative Neurophysiology for intraoperative somatosensory evoked potentials. Clin Neurophysiol. 2019;130(1):161-79.
141. Allison T, McCarthy G, Luby M, Puce A, Spencer DD. Localization of functional regions of human mesial cortex by somatosensory evoked potential recording and by cortical stimulation. Electroencephalogr Clin Neurophysiol. 1996;100(2):126-40.

192

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

192 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

142. Lesser RP, Luders H, Dinner DS, Hahn J, Morris H, Wyllie E, et al. The source of 'paradoxical lateralization' of cortical evoked potentials to posterior tibial nerve stimulation. *Neurology*. 1987;37(1):82-8.
143. Yamamoto T, Katayama Y, Nagaoka T, Kobayashi K, Fukaya C. Intraoperative monitoring of the corticospinal motor evoked potential (D-wave): clinical index for postoperative motor function and functional recovery. *Neurol Med Chir (Tokyo)*. 2004;44(4):170-80; discussion 81-2.
144. Kanaya K, Goto T, Horiuchi T, Hongo K. Threshold variation of transcranial motor evoked potential with threshold criterion in frontotemporal craniotomy. *Clin Neurophysiol Pract*. 2019;4:184-9.
145. Yingling CD. Intraoperative mapping and monitoring of motor cortex-a new paradigm. *US Neurol*. 2011;7(1):64-7.
146. Motoyama Y, Kawaguchi M, Yamada S, Nakagawa I, Nishimura F, Hironaka Y, et al. Evaluation of combined use of transcranial and direct cortical motor evoked potential monitoring during unruptured aneurysm surgery. *Neurol Med Chir (Tokyo)*. 2011;51(1):15-22.
147. Silverstein JW, Rosenthal A, Ellis JA. Direct Cortical Motor Evoked Potentials Versus Transcranial Motor Evoked Potentials for the Detection of Cortical Ischemia During Supratentorial Craniotomy: Case Report. *Cureus*. 2018;10(12):e3771-e.
148. Guo L, Gelb AW. The use of motor evoked potential monitoring during cerebral aneurysm surgery to predict pure motor deficits due to subcortical ische-

193

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

193 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

mia. Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology. 2011;122(4):648-55.

149. Szelenyi A, Joksimovic B, Seifert V. Intraoperative risk of seizures associated with transient direct cortical stimulation in patients with symptomatic epilepsy. J Clin Neurophysiol. 2007;24(1):39-43.

150. Bekelis K, Radwan TA, Desai A, Moses ZB, Thadani VM, Jobst BC, et al. Subdural interhemispheric grid electrodes for intracranial epilepsy monitoring: feasibility, safety, and utility. 2012;117(6):1182.

151. Abuelem T, Friedman DE, Agadi S, Wilfong AA, Yoshor D. Interhemispheric subdural electrodes: technique, utility, and safety. Neurosurgery. 2013;73(2 Suppl Operative):ons253-60; discussion ons60.

152. Nune G, Winawer J, Rauschecker AM, Dastjerdi M, Foster BL, Wandell B, et al. Problem of signal contamination in interhemispheric dual-sided subdural electrodes. Epilepsia. 2011;52(11):e176-80.

153. Byoun HS, Oh CW, Kwon OK, Lee SU, Ban SP, Kim SH, et al. Intraoperative neuromonitoring during microsurgical clipping for unruptured anterior choroidal artery aneurysm. Clin Neurol Neurosurg. 2019;186:105503.

154. Britton JW. Electrical Stimulation Mapping With Stereo-EEG Electrodes. J Clin Neurophysiol. 2018;35(2):110-4.

155. Dineen J, Maus DC, Muzyka I, See RB, Cahill DP, Carter BS, et al. Factors that modify the risk of intraoperative seizures triggered by electrical stimulation during supratentorial functional mapping. Clin Neurophysiol. 2019;130(6):1058-65.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 2990746	Código de verificación: uNoQAuYE
Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 01/11/2020 21:19:04
Victor Manuel García Marín UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	02/11/2020 09:07:17

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015. <i>Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <a href="https://sede.ull.es/validacion/">https://sede.ull.es/validacion/</a></i>	
Identificador del documento: 3096808	Código de verificación: Ys8qJirc
Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA	Fecha: 09/12/2020 17:06:42

**ESTIMULACIÓN CORTICAL DIRECTA  
CON ELECTRODOS CILÍNDRICOS**

156. Gordon B, Lesser RP, Rance NE, Hart J, Jr, Webber R, Uematsu S, et al. Parameters for direct cortical electrical stimulation in the human: histopathologic confirmation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1990;75(5):371-7.
157. McCreery DB, Agnew WF, Yuen TG, Bullara L. Charge density and charge per phase as cofactors in neural injury induced by electrical stimulation. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1990;37(10):996-1001.
158. Agnew WF, McCreery DB, Yuen TG, Bullara LA. Local anaesthetic block protects against electrically-induced damage in peripheral nerve. *J Biomed Eng.* 1990;12(4):301-8.
159. Shannon RV. A model of safe levels for electrical stimulation. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1992;39(4):424-6.
160. Cogan SF, Ludwig KA, Welle CG, Takmakov P. Tissue damage thresholds during therapeutic electrical stimulation. *J Neural Eng.* 2016;13(2):021001.
161. MacDonald DB DV. Safety issues during surgical monitoring. In: Nuwer MR, editor *Intraoperative monitoring of neural function Vol 8, Handbook of clinical neurophysiology* Amsterdam: Elsevier; 2008 p 929-45. 2008.
162. Lee KH, Duffy PS, Bieber AJ. *Deep Brain Stimulation: Indications and Applications*: CRC Press; 2016.

195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2990746 Código de verificación: uNoQAuYE

Firmado por: LIBERTO EMMANUEL BRAGE MARTIN  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 01/11/2020 21:19:04

Victor Manuel García Marín  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

02/11/2020 09:07:17

195 / 195

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
Su autenticidad puede ser contrastada en la siguiente dirección <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3096808 Código de verificación: Ys8qJirc

Firmado por: María de las Maravillas Aguiar Aguiar  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 09/12/2020 17:06:42

195 / 195