

Estandarización del método Klingler y su visualización tridimensional

Julio César Pérez Cruz,* Samuel Paul Gallegos Serrano,** Patsy Garduño Prevost,* Gervith Reyes Soto,* María Rubí Valderrama Gutiérrez,* Ismael Herrera Vázquez,*** Sebastián Manuel Arteaga Martínez,** Patricia Herrera Saint Leu,** Luis Delgado Reyes*

RESUMEN

Objetivo. Crear un modelo tridimensional (3D) de los planos de disección de la cara medial del encéfalo. Para llevar a cabo este modelo, se establecerá la concentración de formaldehído, grado de congelación e instrumentos de disección que ofrezcan el mejor resultado en la disección de estructuras internas del encéfalo. **Material y métodos.** Se obtuvieron 15 encéfalos: se retiraron los vasos sanguíneos, la duramadre, la aracnoides y fueron divididos en cuatro grupos para su estudio. Las variables que se trabajaron en los tres primeros grupos fueron concentración de formaldehído, grado de congelación o no congelación e instrumentos de disección. En el cuarto grupo se sometieron dos hemisferios cerebrales a fijación con formol al 5% durante cuatro semanas, se congelaron a 15 °C por ocho días, posteriormente se realizó la disección topográfica de la cara medial con espátulas de madera, instrumentos de microdisección y sistema de succión. A partir de la disección por planos se procedió a la técnica fotográfica para realidad virtual y se creó un software para la presentación 3D de las estructuras.

Resultados. El someter los hemisferios cerebrales a fijación con formol al 5% produce menor compactación de la sustancia gris y blanca, que los hemisferios fijados al 10%. La congelación a 40 °C no produce la fragmentación de la sustancia gris, ni su separación de la sustancia blanca. La disección con espátulas de madera, instrumentos de microdisección y sistema de succión con cánulas biseladas permite una mejor disección de la sustancia gris y blanca del encéfalo. Se creó una interfase mediante un modelo 3D de las estructuras cerebrales en anaglifo en cada plano de disección. **Conclusión.** La fijación con formol al 5%, congelación a 15 °C y utilización de espátulas de madera, instrumentos de microdisección y sistema de succión permite la disección de tractos de 2 mm de espesor como el tracto subcallosal.

Palabras clave: Método Klingler, técnica de disección de fibras, neuroanatomía 3D, realidad virtual.

ABSTRACT

Objective. To create a three dimensional (3D) plan model of dissections of medial part of the brain. To get this model we will establish the concentration of formaldehyde, freezing degree and dissection instrumental that offers the best result in dissections of structure of internal brain. **Material and methods.** Fifteen brains were obtained; blood vessels, duramater and arachnoids meninges were retired, they were divided for their study in four groups. In the three first groups we worked with formaldehyde concentrations, freezing or no freezing degree, and dissection instrumental. In the fourth group, the cerebral hemispheres were immerse en 5% formol fixation, during four weeks; freezed under 15°C for eight days. Afterwards, topographic dissection in the medial part of the brains with wooden spoonbills, microdissections instrumental and suctions system was carried out; after plans dissections, we carried out a photographic technique for virtual reality and we created a software for 3D presentation of the structures. **Results.** The immersion of 5% of formol produced less compacting of the gray and white substances than the one immerse at 10%. The freezing at 40°C does not produce fragmentation of the gray substance matter separation of the white substance. The dissection with wooden spoonbills, microdissection instrumental and suctions system cannulas, allowed a better dissections of the grey and white substance of the brain. We then created and interface between a 3D model of the cerebral structures in anaglyph in each plan of dissections. **Conclusion.** The fixations of formol at 5%, freezing at 15°C, and the use of wooden spoonbills, microdissection instrumental and suctions systems, allows the dissection of tracts of 2 mm thickness as the subcallosum tract appears.

Key words: Klingler method, dissection of fibers technique, 3D neuroanatomy, virtual reality.

* Laboratorio de Anatomía Microquirúrgica del Sistema Nervioso. Departamento de Anatomía. Facultad de Medicina, UNAM.

** Laboratorio de Modelado Tridimensional para la Enseñanza de las Ciencias Morfológicas. Departamento de Anatomía. Facultad de Medicina, UNAM.

*** Laboratorio de Neuromorfología. Departamento de Anatomía. Facultad de Medicina, UNAM.

INTRODUCCIÓN

En 1542 Andrés Vesalio (1514-1564) inauguró la medicina científica mediante la publicación de información anatómica generada mediante la disección.¹ La disección es un método indispensable para el aprendizaje de la anatomía e implica el proceso de enseñanza y aprendizaje a través de la experiencia.² El estudio del sistema nervioso central es de especial interés y difícil entendimiento, por lo que se ha buscado en forma constante metodologías que faciliten su abordaje y es claro que esto no escapa a las técnicas de disección. Los primeros intentos sobre disección del encéfalo fueron realizados por Constantino Varolio (1543-1575) en 1575 y publicados en su obra *De nervis opticis* donde describe el método de extracción del encéfalo, siendo el primero en realizar el estudio de la cara inferior del encéfalo y el origen de los nervios craneanos.³ Nicolas Steno (1638-1686) tuvo la idea de seguir los tractos de sustancia blanca en toda su dirección en la segunda mitad del siglo XVII. Raymon Vieusens (1641-1715) describió la técnica de disección de fibras en detalle la cual fue publicada en el atlas cerebral *Neurografía Universalis* (1685).⁴ En 1935, Joseph Klingler (1888-1963) introduce la congelación del encéfalo para su disección.⁵ Posteriormente en 1956 publicó su obra *Atlas Cerebri Humani*, en la cual describe la técnica que ahora lleva su nombre. La técnica consiste en sumergir el encéfalo en líquido formaldehído al 5% por cuatro semanas; pasado este tiempo se lava el encéfalo y se somete a congelación por ocho días a una temperatura de -10 °C a -15 °C; se retira del congelador y se lava en agua corriente a temperatura ambiente para que se realice la disección. Los instrumentos de disección que utilizó son una pinza suiza de relojero de punta fina y espátulas de madera de tilo de diversos diámetros.^{6,7} Después de la publicación del atlas de Klingler, la técnica de disección de fibras se utilizó esporádicamente para la descripción de fascículos, dando paso a mayor número de investigaciones en tractos utilizando técnicas histológicas.^{8,9} Recientemente se publicaron estudios que presentaron modificaciones al método Klingler, tal como la reducción del tiempo para la preparación del encéfalo antes de la disección.¹⁰⁻³³ En otros estudios se discute que el tiempo utilizado en la congelación del encéfalo no es justificable, debido a que la misma calidad en la distinción entre sustancia blanca y sustancia gris puede ser obtenida usando encéfalos que fueron fijados y disecados a temperatura ambiente.^{34,35} Heimer (2005) menciona algunas razones para no usar el método Klingler como un procedimiento de rutina, al menos que su propósito de disección sea enfocado enteramente a la disección de

sustancia blanca.³⁶ El desarrollo de la disección *in vivo* de los tractos mediante imagen por resonancia magnética (IRM) ha permitido la caracterización topográfica y volumétrica de regiones corticales y subcorticales, incluso se ha realizado disección de fibras en encéfalos post-mortem guiada por IRM.³⁷⁻⁴¹ Con base en lo anterior y tomando en cuenta las diferentes opiniones que se han generado sobre la técnica de disección de fibras, hemos diseñado el siguiente trabajo que tiene como finalidad estandarizar un método para la disección de estructuras internas del encéfalo, y tiene como objetivo conocer la concentración de formaldehído, grado de congelación o no congelación y cuáles son los instrumentos de disección que ofrezcan el mejor resultado en el proceso de disección del encéfalo. Por otra parte, se pretende mejorar la presentación de la disección, para lo cual se creará un software mediante un modelo 3D de cada uno de los planos de disección de la cara medial del encéfalo. La estructura cerebral seleccionada para la estandarización fue el tracto subcallosal. Éste es un fascículo de asociación largo que se ubica en la cara medial del hemisferio cerebral. Se divide en dos, una división lateral, las fibras corticocorticales (división lateral de Muratoff, tracto occipitofrontal superior), y una división medial, las fibras corticoestriadas (división medial del Muratoff, estra- to subcallosal).^{42,43}

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio anatómico prospectivo, descriptivo, cualitativo y comparativo en encéfalos de población mexicana, obtenidos a través de la Facultad de Medicina de la UNAM. Los criterios de exclusión fueron: encéfalos de cadáveres en postmortem de más de 24 horas, alteración morfológica del encéfalo secundaria a patología primaria o trauma y se incluyen todos los encéfalos de ascendencia mexicana para su estudio. Quince encéfalos fueron estudiados, en donde posterior a su extracción se realizó un corte sagital a nivel de la cisura interhemisférica, obteniendo 30 hemisferios cerebrales (HC). Se retiró duramadre, aracnoides y se lavaron en agua corriente. Se dividieron en cuatro grupos para su estudio mediante visión directa y con microscopio estereoscópico binocular Nikon SMZ-10 (Fig. 1).

Grupo A: Incluye 8 HC, de los cuales cuatro fueron fijados en solución con formol al 5% y otros cuatro HC fueron fijados en solución con formol al 10%, por cuatro semanas. Pasado este tiempo se lavaron en agua corriente por 24 horas para quitar el exceso de formol. Se colocaron en una bolsa de polietileno para congelarlos a -15 °C durante ocho días. Finalizado este lapso se desconge-

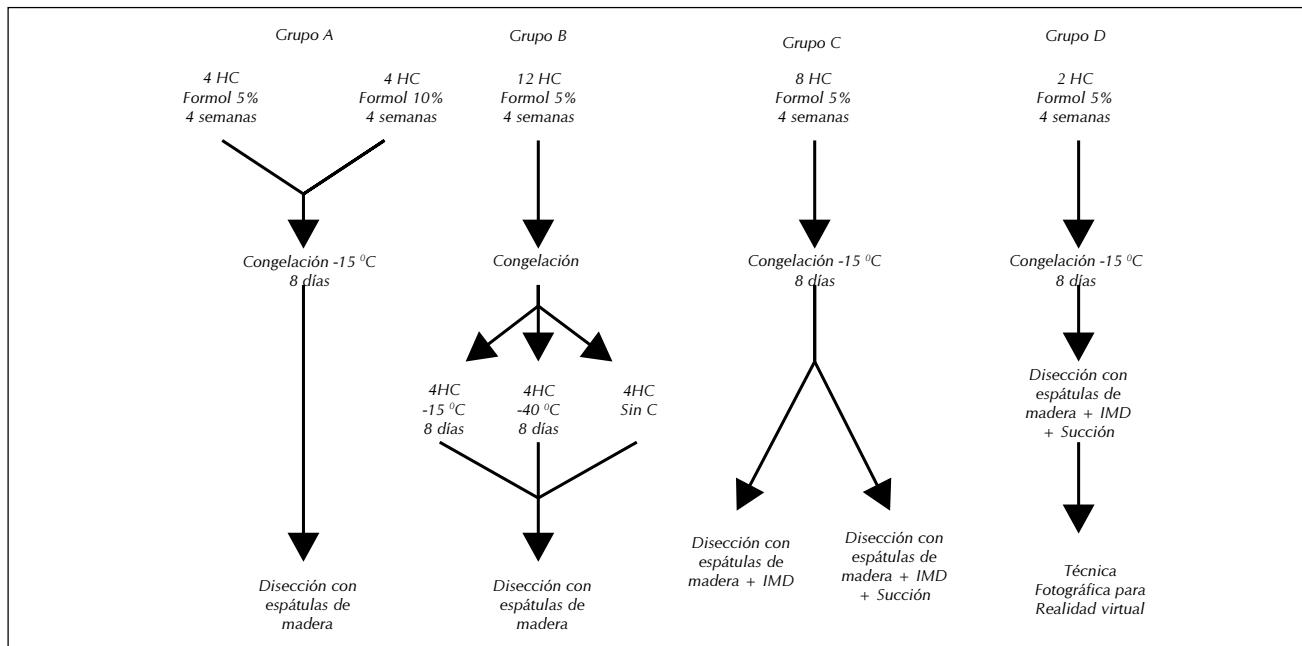


Figura 1. Diseño Experimental. HC: Hemisferios Cerebrales. IMD: Instrumentos de Microdisección.

laron con agua corriente y se comenzó la disección de la cara medial del HC hasta identificar el tracto subcallosal. Los instrumentos utilizados fueron espátulas de madera de 2 mm y 4 mm de diámetro, con una longitud de 15 cm, fabricadas a partir de abate lenguas e instrumentos de microdisección (Fig. 2).

Grupo B: Doce HC fueron fijados en solución con formol al 5% durante cuatro semanas. Cuatro HC se congelaron a -15 °C por ocho días, otros cuatro HC se congelaron a -40 °C durante ocho días y los cuatro restantes no se congelaron. Los ocho primeros se descongelaron con agua corriente y se inició la disección de la cara medial del encéfalo hasta identificar el tracto subcallosal en los 12 HC, utilizando espátulas de madera e instrumentos de microdisección.

Grupo C: Ocho HC fueron fijados en solución con formol al 5% durante cuatro semanas y se sometieron a congelación a -15 °C durante ocho días. En cuatro HC se disecó la cara medial hasta identificar el tracto subcallosal para lo cual se utilizaron espátulas de madera e instrumentos de microdisección. En los otros cuatro HC se disecó la cara medial hasta identificar el tracto subcallosal por medio de un sistema de succión con cánulas biseladas, espátulas de madera e instrumentos de microdisección.

Grupo D: Dos HC se fijaron con formol al 5% durante cuatro semanas, se congelaron a -15 °C por ocho días,

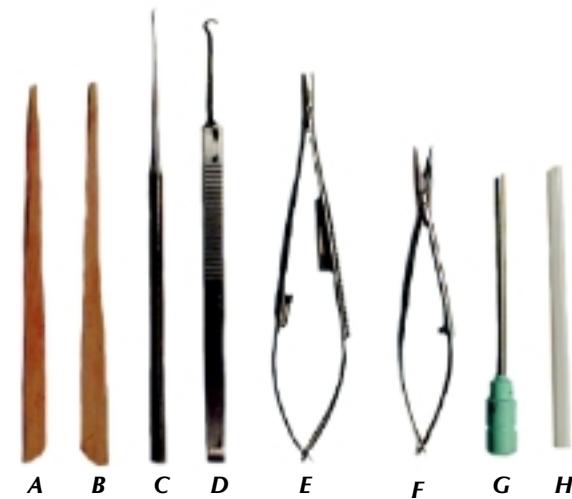


Figura 2. Instrumentos de disección. A, B: Espátulas de Madera. C, D: Microdisectores. E, F: Pinzas y tijeras de microdisección. G, H: Cánulas de succión.

posteriormente se realizó la disección topográfica con espátulas de madera, instrumentos de microdisección y sistema de succión, de la cara medial del encéfalo en nueve planos, hasta el plano donde se ubicó el tracto subcallosal. A partir de la disección por planos se procedió a la técnica fotográfica para realidad virtual, se captu-

raron digitalmente imágenes con cámara fotográfica Nikon Coolpix 990 posicionándola en el plano vertical a una angulación de 0 grados con respecto al horizontal y con rotación cada 6 grados hasta 180 grados obteniendo 30 imágenes por plano (Fig. 3). Estas imágenes fueron debidamente alineadas y delimitadas en el Software Gimp 2.2.17 para procesarlas en el Software Z-Anaglyph para su conversión en anaglifo (Fig. 4). Mediante la sucesión de Frames en el Software Adobe Flash CS3 Professional, se procedió a crear una interfase dinámica y de fácil aplicación (Fig. 5).

RESULTADOS

El someter los hemisferios cerebrales a fijación con formol al 5% durante cuatro semanas produce menor compactación de la sustancia gris y blanca, en comparación con los hemisferios fijados al 10%. Esto permitió que la congelación de la solución de formaldehído localizada entre los fascículos y la sustancia gris forme microcristales que al descongelarse realizaron una hidrodissección. La fijación con formol al 5% permite que la corteza cerebral se desprenda de la sustancia blanca subcortical con la mínima fuerza ejercida. La consistencia del encéfalo al 5% es parecida a una esponja, la cual al compactarla con la fuerza de la mano, disminuye su volumen, pero al retirar la fuerza vuelve a su conformación normal, lo cual no pasa con fijación al 10%. En el encéfalo fijado al 5% el color de la corteza se torna de color café oscuro, semejante a azúcar masticada. Estas características son las ideales para poder iniciar la disección de las estructuras internas del encéfalo. El tracto subcallosal se disecó tanto en cerebros fijados al 5% como al 10%; sin embargo, la porción lateral (fibras costicocorticales, fascículo occipitofrontal superior) del tracto subcallosal, sólo se pudo disecar bien en encéfalos fijados al 5% (Fig. 6).

En los hemisferios cerebrales congelados a -15 °C se observó un cambio en el color de la corteza a café oscuro, fragmentación de la sustancia gris y su separación de la sustancia blanca, así como disminución de la consistencia y del peso. Los encéfalos congelados a -15 °C están deshidratados y al sumergirlos en agua tienden a flotar. Por otra parte la congelación a -40 °C no produce cambios en el tejido. Se logró disecar el tracto subcallosal tanto en cerebros congelados a -40 °C como en los no congelados; no obstante, en ambos se presentó mayor dificultad para retirar la corteza cerebral, núcleos y para la separación de los tractos, produciéndose un mayor número de artefactos en la sustancia blanca. Sólo en el encéfalo congelado a -15 °C

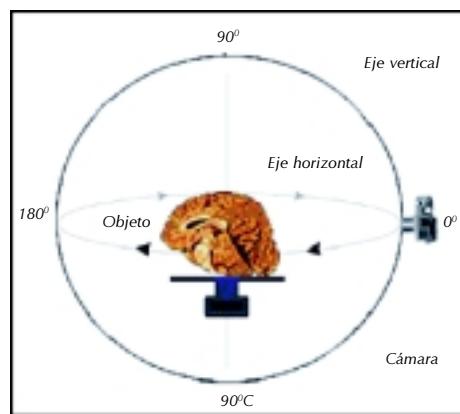


Figura 3. Técnica fotográfica para realidad virtual.



Figura 4. Imágenes con diferencia de 6° para su conversión en anaglifo.

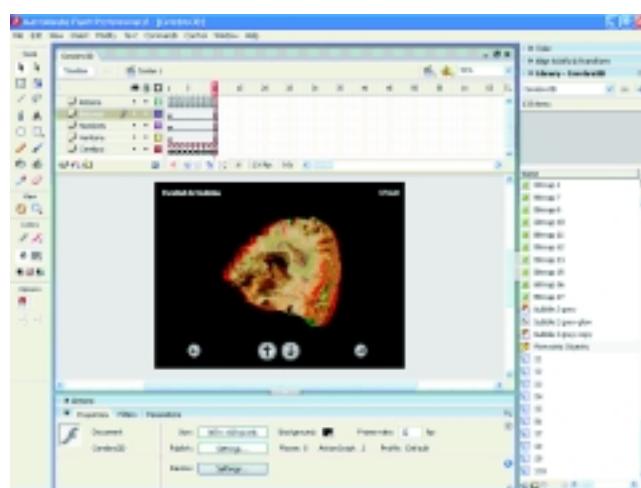


Figura 5. Se generó un Software interactivo de la secuencia de disección, mediante sucesión de Frames.

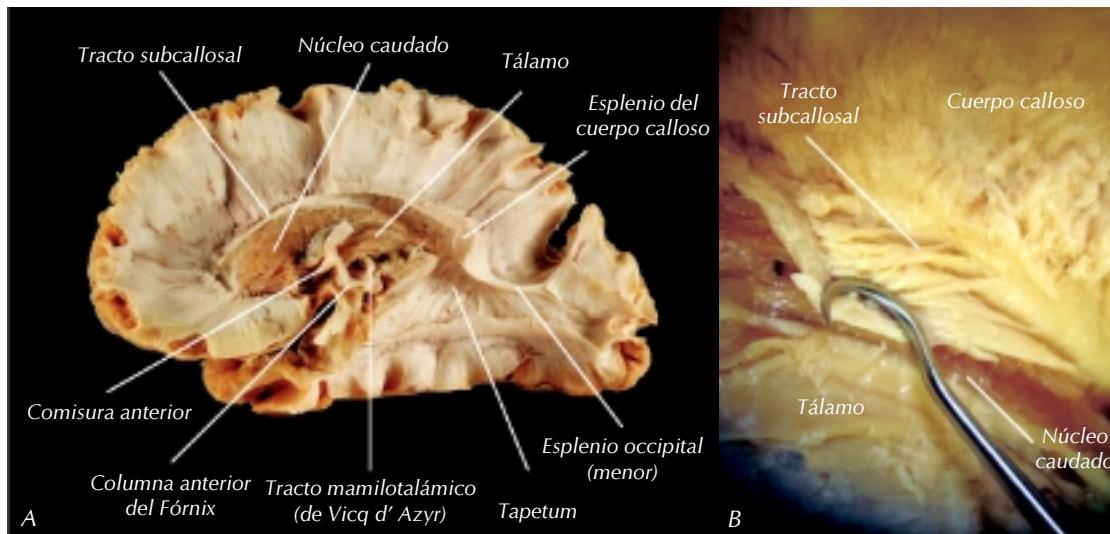


Figura 6. A) Di sección de la cara medial del encéfalo donde se observa el tracto subcallo sal. B) División lateral del tracto subcallosal (Fi bras corticocorti cales) a nivel del cuerpo del ven trículo lateral.

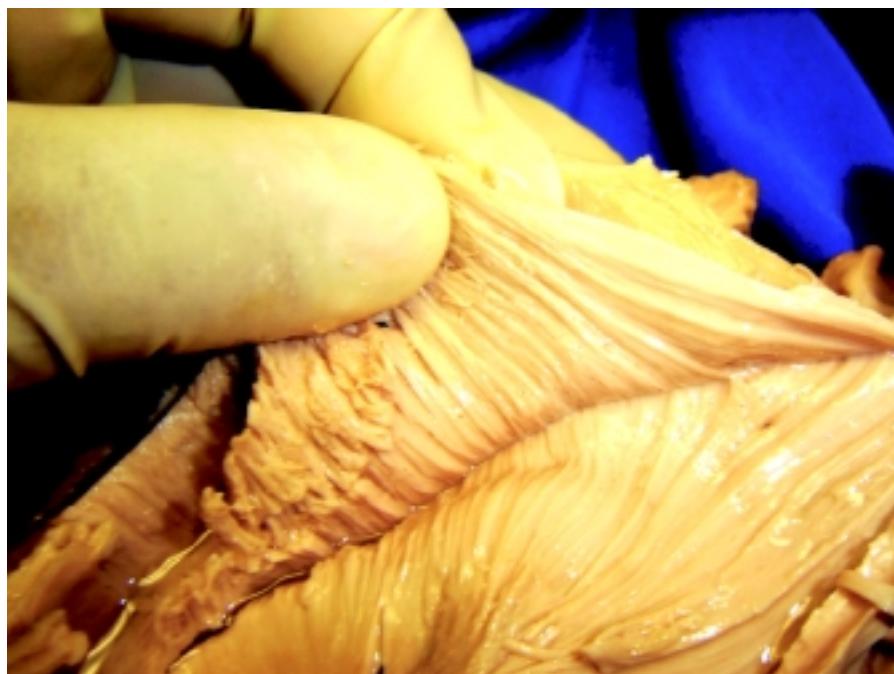


Figura 7. Disección manual de fragmentos de sustancia blanca.

se pudo disecar la porción lateral del tracto subcallosal.

La disección con espátulas de madera e instrumentos de microdisección permite retirar la sustancia gris, pero el riesgo de lesionar la sustancia blanca subcortical y dejar la marca del raspado es mayor que si se hace ayudado por la succión. La disección con espátulas de madera, instrumentos de microdisección y sistema de succión con cánulas biseladas permite una mejor disección de la sustancia gris y blanca del en-

céfalo, además de que se pueden retirar de manera fácil los núcleos, como el núcleo caudado o el hipotálamo, produciendo menor número de artefactos durante la disección, en comparación que si se hace sólo con las espátulas de madera.

El utilizar una cánula biselada con succión permite que el bisel funcione como espátula para retirar la corteza o tractos por arrastre, ayudado por la tracción generada por la succión, resultando en una separación menos traumática de estructuras de planos profundos y con menores

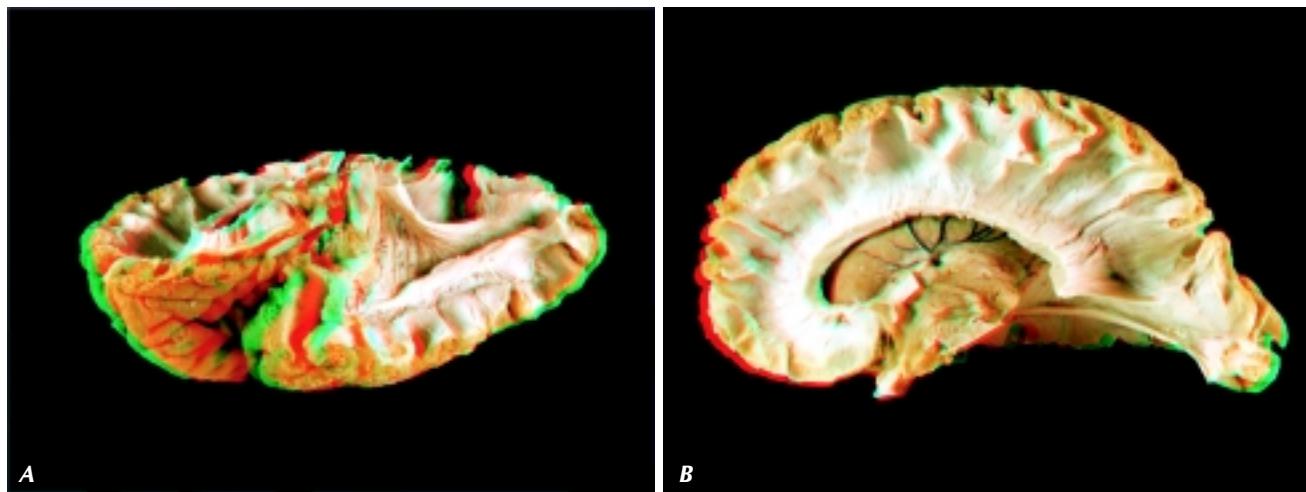


Figura 8. A) Imagen 3D de sexto plano de disección de la cara medial del hemisferio cerebral, se observa el esplenio del cuerpo calloso, su continuidad en dirección posterior con el fórceps occipital y en dirección ventral con el tapetum. B) Imagen 3D del séptimo plano de disección de la cara medial del hemisferio cerebral, se observa cuerpo calloso seccionado, núcleo caudado y vena tálamo estriada..

artefactos. La disección manual nos permite retirar grandes fragmentos de sustancia blanca debido a que al realizar tracción de un extremo del trácto se observa el plano de separación (Fig. 7).

Con respecto a la presentación de la disección se programó una interfase dinámica tridimensional en el software Adobe Flash CS3 Professional, de fácil aplicación de cada plano de disección, con lo cual se logran observar rasgos anatómicos precisos además de la textura y profundidad de las estructuras (Fig. 8).

DISCUSIÓN

Ugur Ture, en 1997, fomenta el resurgimiento de la técnica de disección de fibras, realizando una investigación sobre la anatomía del fascículo occipitofrontal superior.⁴⁴⁻⁴⁷

Las descripciones originales del encéfalo fueron realizadas por los anatomistas no sólo sobre secciones macroscópicas, sino sobre disecciones realizadas en especímenes frescos o en encéfalos endurecidos mediante soluciones espirituosas.⁴⁸

El fundamento de toda buena preparación de tejido es la completa fijación, cuya función primaria es prevenir la putrefacción y la autolisis. Las fallas en la fijación no pueden ser remedias por ningún paso posterior, y el producto final puede ser sólo adecuado si se realizó la correcta fijación.⁴⁹

El etanol, soluciones acuosas de cloruro de cinc o cloruro de potasio fueron usados antes del advenimiento

del formaldehído en 1893. Blue introduce el formol como una solución preservadora de especímenes biológicos. En su primera publicación (1893) él recomienda la fijación del tejido cerebral por inmersión en formol al 10%.⁵⁰

Jamieson recomendaba inyectar el encéfalo *in situ* con solución preservadora de arsénico y posteriormente inyectar solución con formaldehído a la cavidad craneal a través de la órbita. Con este método el cerebro es satisfactoriamente endurecido y la forma del encéfalo es perfectamente retenida. Después el encéfalo era removido de la cavidad craneal e inmerso en solución con formaldehído al 5%. Por medio de este método los tráctos eran fáciles de disecar y la distinción entre sustancia gris y blanca era bastante obvia que en encéfalos fijados sólo con formol.^{48,51}

Al igual que Jamieson, Klingler en 1935 recomienda la fijación del encéfalo con formol al 5%, lo que consideramos adecuado, ya que a esta concentración es posible una penetración a estructuras profundas de manera uniforme, permitiendo una mejor fijación del tejido, facilitando la disección y reduciendo la exposición a formol, ya que se ha demostrado que causa irritación de los ojos, piel y tracto respiratorio, además de que es considerado un carcinógeno potencial en humanos.^{5-7,48,52-54}

Reichardt (1918) y Klingler (1956) hacen la recomendación de suspender el encéfalo de la arteria basilar para su conservación en solución con formaldehído, con el objetivo de que la superficie del cerebro no entre en con-

tacto con el fondo del recipiente y de esta manera evitar cambios en la conformación externa del encéfalo. Consideramos que el suspender el encéfalo de la arteria basilar implica la posibilidad del desprendimiento de las arterias medianas perforantes de la arteria basilar. Esto afectaría si se planea utilizar el material biológico para estudios morfométricos del sistema arterial, por lo que no es recomendable. Para evitar este desprendimiento se realizó una especie de hamaca con una gasa de dimensiones de tal manera que quede totalmente cubierto con formol el encéfalo, y no entre en contacto con el fondo del recipiente. Tampoco recomendamos la colocación de un hilo alrededor del mesencéfalo ya que deja marca en los pedúnculos cerebrales.^{7,50}

Una vez fijado el encéfalo por cuatro semanas, se procede a retirar los vasos sanguíneos y aracnoides, antes de someterlo a congelación. Esto es importante ya que si se pretende retirar la aracnoides después de haber congelado el encéfalo, al realizar la tracción se desprenderá la aracnoides junto con coraza cerebral.⁵⁻⁷

La aportación de Klingler a la técnica de disección de fibras es la congelación.^{5-7,47} En los encéfalos fijados al 5% y congelados a -15 °C se producen microcristales de tal manera que separa los tractos de la sustancia blanca y fragmenta la sustancia gris.

Una vez descongelado el encéfalo e iniciada la disección no recomendamos que se mantenga el encéfalo en formol, sino que se coloque en una bolsa de polietileno y se guarde en un recipiente cerrado, de esta manera se evitará que se rehidrate el tejido, compactándose, al menos que se suspenda la disección por un largo periodo. Solamente después de cada disección hay que darle un pequeño baño con formol al 5%. Tenemos encéfalos almacenados de esta forma por un periodo mayor a 6 meses sin presentar alteraciones.

Para la disección de fascículos mayores de 2 mm de espesor como el fascículo longitudinal superior, uncinado, del cíngulo y la cápsula interna, o la corteza cerebral, no se requiere preparar el encéfalo mediante el método Klingler como lo afirman Wu y Heimer,³⁴⁻³⁶ pero cuando el objeto de estudio son fascículos como el tracto subcallosal, mamilotegmental, asa lenticular o radicaciones geniculotemporocalcarinas (asa de Meyer) se necesita fijación con formol al 5% y congelación previa a -15 °C para obtener adecuados resultados.

La disección con espátulas de madera mediante raspado de la sustancia blanca nos permite descubrir los tractos. Es posible crear mediante el raspado un falso trayecto, por lo cual es indispensable el conocimiento de las relaciones anatómicas de los tractos. La succión reduce

el tiempo de disección, permite la tracción de pequeños tractos y facilita la disección de la sustancia gris de la profundidad de los surcos y de los núcleos, reduciendo artefactos en la disección de la sustancia blanca. Nosotros utilizamos cánulas de polietileno para la succión, no obstante, Gómez recomienda utilizar cánulas para aspiración de Frazier de diámetros diversos.⁵⁵

La realidad virtual (RV) es una herramienta para presentar la información. La RV es una interfase entre el hombre y la computadora que permite sintetizar un mundo tridimensional ficticio, creando una ilusión de realidad, como si te encontraras realmente con el objeto mostrado. En el ámbito de lo que podemos llamar la RV tradicional, existen dos grandes categorías:

1. RV inmersiva. El objetivo es que el usuario interactúe de una manera directa e intuitiva dentro del mundo virtual. Para ello, el usuario es sumergido dentro de este mundo virtual a través de visiocascos y otros equipos sofisticados.
2. RV no-inmersiva (Desktop VR). Es una versión mucho más accesible para experimentar la RV. Aquí, el usuario trabaja con un material informático familiar: el monitor, el ratón y el teclado. En este tipo de RV la información visual 3D es mostrada con todas las características de la RV inmersiva: vista en perspectiva, eliminación de líneas escondidas, sombras, texturas y con una visión estereoscópica a base de lentes especiales (anaglifo, polarización, etc.). Las ventajas de este tipo de RV son su accesibilidad y el hecho de no necesitar una capacidad de cálculo enorme.⁵⁶⁻⁵⁹

Algunos modelos generados de imágenes DICOM de RM y TAC requieren equipo especial para generar la reconstrucción 3D y para manipular los modelos, además de la dificultad para mostrar detalles anatómicos, especialmente de la base de cráneo, donde es difícil seguir los pequeños vasos, nervios y para mostrar la continuidad de las estructuras óseas.^{60,61}

Utilizando la metodología para realidad virtual no inmersiva se creó un modelo 3D interactivo de los planos de disección reales de la cara medial del hemisferio cerebral, de bajo costo de producción y de fácil demostración en cualquier computadora de uso personal (PC, MAC, Linux, UMPC, PPC, etc.).

El desarrollo científico y tecnológico en la segunda mitad del siglo XX suministró a la neurocirugía tanto de nuevos equipos como conceptos quirúrgicos.⁶²

Trabajar con este tipo de modelos permite acelerar el proceso de enseñanza y aprendizaje, pues se trata de una técnica docente que no depende de la disponibilidad de

pacientes, turnos quirúrgicos y límite de participantes. Permite la repetición del proceso para la adquisición de conocimientos y habilidades, pero esto no sería posible sin interés personal de los educandos.⁶³

Por lo que podemos decir que es necesario un cabal aprendizaje y desarrollo de las capacidades neuroquirúrgicas, así como la adquisición de un conocimiento acabado de la anatomía craneoencefálica y de la columna vertebral para una práctica neuroquirúrgica técnicamente correcta ayudado de un conocimiento radiológico para el análisis e interpretación de estudios de neurovisualización modernos.⁶²⁻⁶⁴

CONCLUSIÓN

La fijación con formol al 5%, congelación a -15 °C y la utilización de espátulas de madera, instrumentos de microdissección y sistema de succión permite la disección de fascículos de 2 a 4 mm de espesor como el tracto subcallosal en el encéfalo humano adulto.

El método Klingler es un excelente método de disección de estructuras internas del encéfalo, que nos permite aprender la profundidad, dirección, angulación, trayecto y relaciones de las fibras de asociación, comisurales y de proyección.

La utilización de la técnica de disección de fibras en el aprendizaje de la neuroanatomía básica y neuroquirúrgica nos permite una mejor comprensión de la ubicación de las estructuras cerebrales, traduciéndose en la capacidad de realizar diagnósticos clínicos topográficos de forma rápida y precisa, además de dar una mejor ubicación y seguridad al neurocirujano o residente de neurocirugía en el acto quirúrgico, reduciéndose de esta manera el tiempo quirúrgico, teniendo como parte fundamental el beneficio del paciente.

La técnica de fotografiado para realidad virtual más el anaglifo nos permite visualizar estructuras morfológicas reales a un bajo costo donde el principal recurso no es el tecnológico. De igual forma hay que reconocer que los modelos 3D apoyan la enseñanza de la anatomía, pero no suplanta el proceso que implica el aprendizaje de una estructura mediante la disección.

AGRADECIMIENTOS

En agradecimiento al Dr. Manuel Ángeles Castellanos por su valiosa ayuda para la elaboración de este artículo.

REFERENCIAS

1. Aziz MA, Mckenzie JC, Wilson JS, Cowie RJ, Ayeni SA, Dunn BK. The human cadaver in the age of biomedical informatics. *Anat Rec (New Anat)* 2002; 269: 20-32.
2. Moore NA. To dissect or not to dissect? (Commentary). *Anat Rec (New Anat)* 1998; 253: 8-9.
3. De Asis Flores y TF. Historia de la Medicina en México. 2a Ed. México: IMSS; 1982, p. 362.
4. Heimer L. Gross dissection of the human brain (Introduction). *Neurosurg Focus* 2005; 18(6b): 1-2.
5. Klingler J. Erleichterung der makroskopischen Praeparation des Gehirns durch den Gefrierprozess. *Schweiz Arch Neurol Psychiatr* 1935; 36: 247-56.
6. Klingler J, Gloor P. The connections of the amygdala and of the anterior temporal cortex in human brain. *J Comp Neurol* 1960; 115: 333-69.
7. Klingler J, Ludwig E. *Atlas Cerebri Humani*. NY: Karger, Basel; 1956.
8. Ebeling U, Cramon Dv. Topography of the uncinate fascicle and adjacent temporal fiber tracts. *Acta Neurochir (Wien)* 1992; 115: 143-8.
9. Ebeling U, Reulen HJ. Neurosurgical topography of the optic radiation in the temporal lobe. *Acta Neurochir (Wien)* 1988; 92: 29-36.
10. Sincoff EH, Tan Y, Abdulrauf SI. White matter fiber dissection of the optic radiations of the temporal lobe and implications for surgical approaches to the temporal horn. *J Neurosurg* 2004; 101: 739-46.
11. Fontana H, Belziti H, Requejo F. El espacio perforado anterior y zonas aledañas, con consideraciones funcionales, Parte I. *Rev Argent Neuroc* 2002; 17(1): 1-12.
12. Fontana H, Belziti H, Requejo F. El espacio perforado anterior y sus zonas aledañas, con consideraciones funcionales. Parte II. *Rev Argent Neuroc* 2003; 17(2): 1-10.
13. Requejo F, Fontana H, Belziti H, Recchia M. El tallo temporal. Descripción de su estructura anatómica. *Rev Argent Neuroc* 2005; 19(1): 1-11.
14. Tusa RJ, Ungerleider LG. The inferior longitudinal fasciculus: a reexamination in humans and monkeys. *Ann Neurol* 1985; 18: 583-91.
15. Coppens JR, Mahaney KB, Abdulrauf SI. An anteromedial approach to the temporal horn to avoid injury to the optic radiation fibers and uncinate fasciculus: anatomical and technical note. *Neurosurg Focus* 2005; 18(6b) E3: 1-6.
16. Haffajee MR. Brain preparation to show fibre tracts and nuclei. *JISP* 1996; 10(1): 6-7.
17. Yasargil MG, Ture U, Yasargil DCH. Surgical anatomy of supratentorial midline lesions. *Neurosurg Focus* 2005; 18(6b) E1: 1-9.
18. Peuskens D, van Loon J, van Calenberg F, van den Bergh R, Goffin J, Plets C. Anatomy of the anterior temporal lobe and the frontotemporal region demonstrated by fiber dissection. *Neurosurgery* 2004; 55(5): 1174-84.
19. Martínez F, Soria VR, Sgaribí N, Laza S, Prinzo H. Bases anatómicas de la hemisferotomía periinsular. *Rev Med Uruguay* 2004; 20: 208-14.

20. Recalde R, Sanz F, Coppola F, Zottis C, Bava E, De Oliveira E. Anatomía de las fibras blancas del lóbulo temporal en 3D. *Rev Neurocirugía* VIII 2006; 4: 106-12.
21. Shinohara H, Yasutaka S, Taniguchi Y, Kominami R, Kawamata S. Fiber dissection technique for demonstrating the lateral lemniscus of the human brain. *Okajimas Folia Anat Jpn* 2004; 80(5-6): 115-18.
22. Shinohara H, Yasutaka S, Kominami R. Gross anatomical fiber dissection technique and observation of nerve fasciculi in the human cerebrum. *J Kanazawa Med Univ* 2005; 30: 352-6.
23. de Castro I, de Holanda D, Paes Dos Santos D, Landeiro JA. Internal structure of the cerebral hemispheres. An introduction of the dissection technique. *Arq Neuropsiquiatr* 2005; 63(2-A): 252-8.
24. Rhiton AL Jr. The cerebrum. *Neurosurgery* 2002; 51(Suppl. 1): 1-51.
25. Rubino PA, Rhiton AL Jr, Tong X, de Oliveira E. Three-dimensional Relationships of the optic radiation. *Neurosurgery* 2005; 57(Suppl. 3): 219-27.
26. Choi C, Rubino PA, Fernandez-Miranda JC, Abe H, Rhiton AL. Meyer's loop and the optic radiations in the transsylvian approach to the mediobasal temporal lobe. *Neurosurgery* 2006; 59(Suppl. 4): 228-36.
27. Vandewalle G, Beuls E, Vanormelingen L, Vandersteen M. Accessory intraventricular prominence of the occipital horn of the lateral ventricle. *J Neurosurg* 2003; 99: 151-5.
28. Kawashima M, Xiaoyong L, Rhiton AL Jr, Ulm AJ, Oka H, Fujii K. Surgical approaches to the atrium of the lateral ventricle: microsurgical anatomy. *Surgical Neurology* 2006; 65(5): 436-45.
29. Travers N, Destrieux C, Velut S. Etude micro-anatomique des fibres du faisceau uncine: applications dans la chirurgie fronto-temporo-insulaire. *Neurochirurgie* 2004; 50(5): 586.
30. Oka DN, Travers N, Destrieux C, Velut S. Etude Micro-anatomique du faisceau occipito-frontal supérieur, à l' ére de l'IRM en tenseur de diffusion. *Neurochirurgie* 2007; 53(5): 444-5.
31. Travers N. L'étude micro-anatomique des fibres du faisceau unciné et ses implications dans la chirurgie fronto-temporale. *Neurochirurgie* 2004; 50(1): 77.
32. Peltier J, Travers N, Destrieux C, Velut S. Optic radiations: a microsurgical anatomical study. *J Neurosurg* 2006; 105: 294-300.
33. N'dri Oka D, Haidara A, Broalet E, Bazeze V. Etude micro-anatomique du faisceau longitudinal supérieur et ses implications cliniques. *AJNS* 2006; 26(2): 109-18.
34. Wu M, Haase P. Plastination of the neuroanatomical specimens: does freezing prior to dissection give better distinction between nuclei and fibre tracts? *JISP* 1996; 11(1): 26-7.
35. Roos ED. Localization of the pyramidal tract in the internal capsule by whole brain dissection. *Neurology* 1980; 30: 59-64.
36. Heimer L. Instructional video. Dissection of the human brain. *Neurosurg Focus* 2005; 18(6b) E4: 1-2.
37. Jellison BJ, Field AS, Medow J, Lazar M, Salamant MS, Alexander AL. Diffusion tensor imaging of cerebral white matter: a pictorial review of physics, fiber tract anatomy, and tumor imaging patterns. *AJNR* 2004; 25: 356-69.
38. Kier EL, Staib LH, Davis LM, Bronen RA. MR Imaging of the temporal stem: anatomic dissection tractography of the uncinate fasciculus, inferior occipitofrontal fasciculus, and Meyer's loop of the optic radiation. *AJNR* 2004; 25: 677-91.
39. Kier EL, Staib LH, Davis LM, Bronen RA. Anatomic Dissection tractography: a new method for precise MR localization of white matter tracts. *AJNR* 2004; 25: 670-6.
40. Catani M, Jones DK, Donato R, Ffytche DH. Occipito-temporal connections in the human brain. *Brain* 2003; 126: 2093-107.
41. Makris N, Worth AJ, Sorensen AG, Papadimitriou GM, Wu O, Reese TG, et al. Morphometry of in vivo human white matter association pathways with diffusion-weighted magnetic resonance imaging. *Ann Neurol* 1997; 42: 951-62.
42. Yakovlev PI, Locke S. Limbic nuclei of the thalamus and connections of limbic cortex. III. Corticocortical connections of the anterior cingulated gyrus, the cingulum, and the subcallosal bundle in monkey. *Arch Neurol* 1961; 5: 364-400.
43. Duffau H, Capelle L, Sichez N, Denavit D, Lopes M, Sichez JP, et al. Intraoperative mapping of the subcortical language pathways using direct stimulations. An anatomo-funcional study. *Brain* 2002; 125: 199-214.
44. Türe U, Yasargil MG, Pait TG. Is there a superior occipitofrontal fasciculus? A microsurgical anatomic study. *Neurosurgery* 1997; 40(6): 1226-32.
45. Türe U, Yasargil DCH, Al-Mefty O, Yasargil MG. Topographic anatomy of the insular region. *J Neurosurgery* 1999; 90(4): 720-33.
46. Türe U, Yasargil MG, Friedman AH, Al-Mefty O. Fiber dissection technique: lateral aspect of the brain. *Neurosurgery* 2000; 47(2): 417-27.
47. Yasargil MG, Türe U, Yasargil DCH. Impact of temporal lobe surgery (Editorial). *J Neurosurg* 2004; 101: 725-38.
48. Jamieson EB. The means of displaying, by ordinary dissection, the larger tracts of white matter of the brain in their continuity. *J Anat Physiol* 1909; 18: 225-34.
49. Ulmer D. Fixation. The key to good tissue preservation. *JISP* 1994; 8(1): 7-10.
50. Riepertinger A. Fixation of the human brain for plastination: special considerations. *JISP* 1988; 2 (1): 8-12.
51. McIntosh J, Fildes P. The fixation of arsenic by the brain after intravenous injections of salvarsan. *Proceedings of the Royal Society of the London. Series B, Containing papers of the biological character* 1914; 88(603): 320-6.
52. Ohmichi K, Komiyama M, Matsuno Y, Takanashi Y, Miyamoto H, Kadota T, et al. Formaldehyde exposure in a gross anatomy laboratory. Personal exposure level in higher

- than indoor concentration. *ESPR-Environ Sci Pollut Res* 2006; 13(2): 120-4.
53. Dingle P, Tapsell P, Hu S. Reducing Formaldehyde exposure in office environments using plants. *Bull Environ Contam Toxicol* 2000; 64: 302-8.
 54. Coleman R, Kogan I. An improved low-formaldehyde embalming fluid to preserve cadavers for anatomy teaching (Correspondence). *J Anat* 1998; 192: 443-6.
 55. Gómez JA. *Disección de fibras cerebrales, una buena alternativa en el aprendizaje tridimensional de la anatomía cerebral* (Tesis). México, DF: Hospital Juárez de México; 2004.
 56. Tomás V, Dorta D. La realidad virtual dibujada: como una nueva manera de hacer computación. Primera conferencia Venezolana sobre aplicación de computadoras en arquitectura FAU-UCV - CARACAS, 1999, p. 175-82.
 57. Isolan GR, Rowe R, Al-Mefty O. Microanatomy and surgical approaches to the infratemporal fossa: an anaglyphic three-dimensional stereoscopic printing study. *Skull Base* 2007; 17(5): 285-302.
 58. Shimizu S, Tanaka R, Rhoton AL Jr, Fukushima Y, Osawa S, Kawashima M, et al. Anatomic dissection and classic three-dimensional documentation: a unit of education for neurosurgical anatomy revisited. *Neurosurgery* 2006; 58(5): 1000-2.
 59. Ribas GC, Bento RF, Rodríguez AJ Jr. Anaglyphic three-dimensional stereoscopic printing: revival of an old method for anatomical and surgical teaching and reporting (Technical note). *J Neurosurg* 2001; 95: 1057-66.
 60. Kakizawa Y, Hongo K, Rhoton AL Jr. Construction of a three-dimensional interactive model of the skull base and cranial nerves. *Neurosurgery* 2007; 60(5): 901-10.
 61. Mason TP, Applebaum EL, Rasmussen M, Millman A, Evenhouse R, Panko W. Virtual temporal bone: Creation and application of a new computer-based teaching tool. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2000; 122: 168-73.
 62. Yasargil MG. From the microsurgical laboratory to the operating theatre (Editorial). *Acta Neurochir (Wien)* 2005; 147: 465-68.
 63. De Jongh E, Pereira FR, Pereira R. Modelo simulador para entrenamiento en neuroendoscopia y neuroanatomía. *Rev Cubana Cir* 2005; 44(1): 0-0.
 64. Ravera F, Yañez A, Cerdá J, Valenzuela S. Laboratorio de microneuroanatomía y microcirugía: una necesidad real para la práctica neuroquirúrgica. *Rev Chil Neurocirug* 2006; 26: 44-8.

Solicitud de sobretiros:

Dr. Julio César Pérez Cruz
Laboratorio de Anatomía Microquirúrgica del
Sistema Nervioso.
Departamento de Anatomía
Facultad de Medicina
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria
C.P. 04510
Tel.: 5623-2422
Correo electrónico: julinho_gracilis@hotmail.com