

DESARROLLO DE LA PERCEPCIÓN AUDITIVA FETAL: La estimulación prenatal

César Barrio Tarnawiecki (*)

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se están haciendo, en nuestro país, cada vez más frecuentes los intentos de intervenir en el desarrollo prenatal del sistema nervioso a través de la estimulación de diferentes sistemas sensoriales, en particular la audición, principalmente mediante la música y el lenguaje. La mayor parte de esos trabajos están hechos por profesionales que no tienen la necesaria formación académica para intervenir en el desarrollo del sistema nervioso, menos aún en su etapa prenatal. Los currícula de las escuelas en las universidades peruanas deben tener algún curso u otra actividad que los forme en el terreno de la neuroontogénesis, para que sus profesionales puedan incursionar en un terreno tan delicado como es el desarrollo prenatal, particularmente del sistema nervioso.

PALABRAS CLAVES:

Neuroontogénesis, audición, acústica, estimulación sonora, momentos

Las presentaciones de quienes intentan la estimulación prenatal mediante la música y el lenguaje evidencian que les faltan los conocimientos necesarios para diferenciar entre el efecto a través de la madre y aquel directo sobre el sistema auditivo fetal. Y saber diferenciar si la respuesta fetal al sonido es a través del proceso de la audición o una acción directa de las ondas acústicas sobre las estructuras del feto, como es el caso del ultrasonido. No se han hecho tampoco estudios comparativos con buen rigor científico que permitan llegar a las conclusiones que se anuncian, ni aquí ni en el extranjero (1,2).

En otros países se han hecho experimentos con elementos vibroacústicos y con parlantes adosados a la pared abdominal, procedimientos que más bien pueden estresar y, en algunos casos, hacer un daño directo sobre el feto (1,3, 4).

Estos párrafos, tanto los primeros como los que siguen, pueden parecer duros, pero no creo que sea posible no ser claros, bien claros, debido al riesgo al que exponen a los cerebros fetales en formación. El cerebro es el sujeto propiamente dicho, es el Yo, no es un órgano más. Intento ahora resumir la información que puede permitirnos afirmar que el desarrollo del cerebro fetal no puede ser influido favorablemente por la llegada de sonidos (sea música o lenguaje) al sistema de la audición fetal humana. La influencia tranquilizante de los sonidos realmente se hace a través de su percepción por la madre, su relajación y el efecto favorable de la relajación materna sobre el desarrollo del cerebro fetal.

Entonces, ¿es posible que la música y el lenguaje tengan efectos beneficiosos sobre el desarrollo del cerebro fetal? La respuesta es Sí. Pero por la relajación materna. ¿Y es posible que el feto pueda escuchar la música ambiental y el lenguaje que no perturbe, por su intensidad, a nadie del entorno? La respuesta me parece que es NO. Ahora vamos a revisar las razones, que son objetivas, no son especulaciones, no son suposiciones.

* Médico Fisiólogo,
Profesor Principal de Fisiología
UNMSM, UNFV
Calle J.M. Quiroga 576, Surco
E-mail:cesarbartar@hotmail.com
Tel.448-4267, 448-5292.

ONTOGÉNESIS DEL SISTEMA SENSORIAL AUDITIVO

La parte inicial del sistema sensorial está constituida por el aparato conductor de las ondas sonoras (oído externo, oído medio y la endolinfa del oído interno) cuya tarea es la conducción de los fenómenos acústicos (5,6), fenómenos meramente físicos que pueden sufrir cambios en amplitud y velocidad de propagación, pero sigue siendo un fenómeno físico. Sólo propagan las ondas sonoras (3,7). Las ondas sonoras se propagan por todas las estructuras en función de su intensidad

La formación del aparato conductor se inicia con la placoda ótica a las 3,5 semanas y el otocisto se forma a las 4,0 semanas intrauterinas (IU), separándose de la superficie ectodermal y se empieza a formar el ducto endolinfático. El otocisto hace contacto con la masa ganglionar acústicofacial a las 4,0 semanas. El ducto endolinfático ya se observa a las cinco semanas IU (5,6).

Pero el desarrollo del canal auditivo recién se completa alrededor de los dos años de edad. Este canal está lleno de líquido al nacer, lo que amortigua la onda sonora. Al nacer, también, la cavidad del oído medio (huesecillos) está llena de un tejido gelatinoso, por lo que la conducción acústica no está libre, la capacidad auditiva es deficiente. Ese tejido esponjoso gelatinoso sufre un proceso de regresión y reabsorción al final de la vida fetal (meses 8° y 9° IU), y la cavidad timpánica invade el espacio que deja. Ese proceso no está terminado al nacer y la agudeza auditiva recién se adquiere en las primeras semanas postnatales (1,5,6). Es todo un sistema de protección para evitar la llegada de sonidos hacia el oído interno. Está aislado físicamente. Este aislamiento es suficiente para que el feto no pueda escuchar el lenguaje común ni la música, dentro de la intensidad que no produzca malestar a los que ya dejaron el vientre materno.

LOS RECEPTORES

El siguiente componente es el aparato sensorial que se ubica en el órgano espiral coclear cuya diferenciación celular se inicia a las 10 semanas, apareciendo el epitelio sensorial (órgano de Corti), concluyendo su estructuración alrededor de la semana 20 IU. Las células ciliadas del epitelio sensorial son las encargadas de convertir las ondas sonoras en un fenómeno biológico, para luego transmitirse como señal biológica hasta la corteza cerebral. Es el fenómeno de la transducción energética. Estas células sensoriales completan su papel solamente

cuando transmiten su señal a las neuronas, cuya primera etapa es el ganglio acústico (5,6,7).

EL NERVIIO AUDITIVO

El siguiente paso es el ganglio acústicofacial que se empieza a formar a las 3,5 semanas de vida IU, siendo su masa original una separación temprana de la cresta neural, antes de formarse el tubo neural (5,6). El ganglio crece delante del otocisto, y con sus proyecciones constituye el nervio acústico, sus células son bipolares. Sus prolongaciones centrales (hacia el SNC) unen los ganglios con los tubérculos acústicos del mielencéfalo (futuro bulbo raquídeo). Alrededor de la semana 20° IU sale la rama coclear de los ganglios acústicos hacia el epitelio coclear. Cuando se completa la maduración de estas células ganglionares, en la vida postnatal, el 90% de las fibras que comunican con las células internas está mielinizado (5,6). Recordemos que la mielinización axonal cerebral no se presenta antes del séptimo mes IU y mayormente es postnatal. Igualmente recordemos que una fibra no mielinizada no funciona (8).

Así ya tenemos que los receptores están estructurados entre los meses 3° a 5° de vida IU, y el nervio auditivo entre los meses 4° al 5°, pero aún con axones no mielinizados. Por tanto hasta aquí definitivamente no es posible la audición. Menos aún cuando todavía no se forman las vías auditivas intracerebrales ni la corteza auditiva. Es importante recordar que los neuroblastos empiezan a migrar de la zona ventricular del tubo neural a los 4 meses IU, migración que puede tomar hasta el sexto mes IU, mientras que la agregación y adhesión de dichos neuroblastos se va a producir entre los meses 5° a 7° de la vida IU (8). Estamos hablando de neuroblastos, por tanto no de neuronas. Los neuroblastos empiezan a madurar en el cerebro a partir del sexto mes de vida IU, constituyéndose en neuronas, con sus dendritas y axones (8,9). Antes solamente hay neuronas en el tronco cerebral y en la médula espinal. Por tanto, al menos hasta el sexto mes de vida IU es absolutamente imposible la participación de las vías auditivas, pues no existen. Más aún, la mielinización de las fibras subcorticales empieza en el séptimo mes IU, proceso que adquiere su mayor desarrollo en la etapa postnatal (8).

LA VÍA AUDITIVA

Las vías auditivas son las encargadas de llevar la información a la corteza cerebral. Comienzan en el nervio auditivo o coclear, que es parte del VIII par craneal. Las vías ascendentes del nervio auditivo terminan en los núcleos cocleares

La vía auditiva continúa hacia los lemniscos laterales, luego a los colículos inferiores (contralaterales) hasta los cuerpos geniculados mediales (contralaterales). De los lemniscos laterales también hay fibras que continúan su recorrido sin cruzar al otro lado. El siguiente paso es la corteza auditiva, área 41 de Brodmann, que está mayormente oculta en la profundidad de la fisura de Silvio. En total, son 56 neuronas las que constituyen la vía auditiva, desde la ganglionar hasta la neurona cortical. Las señales van predominantemente al lado contralateral cortical, pero también llegan a la corteza homolateral (5,6,9).

Las neuronas subcorticales se constituyen entre el 5° al 7° mes de vida intrauterina, pero se encuentran aún en los inicios del proceso de mielinización. Hablamos ya de la semana 28° de vida IU, y el estado de la estructuración de la vía auditiva no hace aún viable la audición, como fenómeno biológico (8).

diferenciación con las otras especies animales (9).

Alrededor del tercer mes de vida IU se inicia el gran desarrollo parietooccipital (proceso de hiperplasia de los glioblastos) y en el mes 6° de vida IU se va haciendo evidente la fisura de Silvio (límite anterior y superior del lóbulo temporal) que se forma debido al rápido crecimiento de las regiones corticales vecinas. Recién entre los meses 8° y 9° IU aparecen los surcos y circunvoluciones del patrón definitivo de los hemisferios, cuyo desarrollo pleno se alcanza a los tres años de edad (5,6,8,9).

Entonces, si recién al llegar al 8° mes IU se constituyen las capas corticales relacionadas con la audición ¿cómo sería posible que se produzca la audición de los sonidos propios del lenguaje y de la música que no disturben a los del entorno familiar?

Las intervenciones equivocadas pueden afectar la audición, que es el elemento fundamental para la introducción del lenguaje, cuyas características nos diferencian tan obviamente de otras especies, desde hace unos 70000 años (según los más recientes estudios antropológicos) (10). Cuando en el lenguaje se añade la lectura, la información visual se canaliza a regiones ya desarrolladas en la corteza de los lóbulos

temporales. Podemos añadir que, en el proceso del desarrollo del sistema nervioso, las radiaciones de las vías ópticas hacen una curva hacia los lóbulos temporales, antes de ir a los lóbulos occipitales. Además, la palabra escrita se comprende debido a que del área primaria visual van vías al área de Wernicke (9).

En resumen, antes de la semana 32° de la vida IU no hay las estructuras necesarias para que se produzca la audición, como fenómeno biológico. Y las estructuras que ya están presentes a las 32 semanas, están inmaduras. Todo el proceso de la ontogénesis del sistema nervioso, incluidos los sistemas sensoriales, está definido en la codificación genética, considerando qué se debe formar, cuándo se debe formar, cómo debe funcionar y cuándo debe funcionar (8). Los factores epigenéticos son fundamentales para la expresión genética, pero no sustituyen a la codificación genética. El conocimiento de la ontogénesis nos permite contribuir a que no falten los factores epigenéticos y que estén presentes en el momento crítico en que se requieren (por

CUADRO NO 1

MOMENTOS CRÍTICOS EN LA MADURACIÓN DEL SISTEMA DE LA AUDICIÓN HUMANA FETAL

SISTEMA AUDITIVO		PROCESOS CEREBRALES	
Receptores	3°-5° mes	Migración neuroblastos	4°-6° mes
Nervio auditivo	4°-5° mes	Agregación neuroblastos	5°-7° mes
Vía subcortical	5°-7° mes	Maduración neuronas	6° y postnatal
Corteza auditiva	8° y postnatal	Mielinización axonal	8° y postnatal

LA CORTEZA AUDITIVA

El área cortical auditiva es la parte del sistema que es responsable de la audición propiamente dicha, pues es en la corteza donde realmente se escucha. Corresponde a la mitad superior de los 2/3 anteriores de los lóbulos temporales (9).

El área auditiva primaria la constituye la porción media de la circunvolución temporal superior, y está en relación con los tonos y otras cualidades de los sonidos. El área auditiva secundaria - resto del área auditiva - está en relación con el significado de las palabras y el reconocimiento de la música. A estas áreas hay que añadirles la de integración sensitiva (área de Wernicke) que relaciona la información sensorial somática, visual y auditiva; y corresponde a la parte posterior de la zona superior temporal en contacto con los lóbulos parietal y occipital. La confluencia de señales sensoriales permite la integración, que tiene especialización hemisférica (dominancia), y resulta el área más importante del cerebro humano, pues es la que permite la gran

estimulación temprana en el momento oportuno) (Cuadro No 1). Cuando no es así, puede no producirse la expresión genética o producirse de manera inadecuada. Pero los factores epigenéticos no pueden actuar positivamente cuando la ontogénesis no se encuentra en el momento crítico en que son necesarios. Quiere decir que no se puede acelerar la ontogénesis, pues sería como si pudiéramos acortar el tiempo de la gestación humana (lo que requeriría una mutación).

La estructuración de un cerebro altamente sensible al estrés es el resultado más frecuente de la presencia de factores epigenéticos en un momento inadecuado. Una respuesta más activa a un estímulo suele interpretarse como la que corresponde a un sujeto más "despierto", cuando en realidad se trata de un sujeto más "estresado", condición que se puede ya generar intraútero (11).

Ahora veremos qué pueden oír los fetos y cada uno sacará sus conclusiones respecto a la estimulación sensorial prenatal.

RESPUESTA FETAL A LOS SONIDOS

Aunque el feto sigue en el aislamiento que representa su ubicación intraabdominal, ya existe cierta sensibilidad del sistema auditivo, a partir de la semana 32°, como se ha evidenciado en algunos trabajos experimentales (1,12) y forman parte de algunas acciones propias de la práctica obstétrica (como el estimular al feto mediante el ruido del golpe de las palmas). Pero no olvidemos que el sistema auditivo fetal puede ser afectado negativamente por los sonidos intensos y que los ruidos que pueden ser dañinos para los adultos, también lo son para los fetos (2).

Debe considerarse que los estímulos para producir respuestas fetales se alteran a su paso del aire, a través de las paredes abdominal y uterina, al líquido amniótico (11) y no se han hecho registros para demostrar que la llegada de un sonido (la voz por ejemplo) se capte tal como se emite, pues se puede asegurar que llega con modificaciones, no solamente en intensidad, sino

CUADRO NO 2

RESPUESTA FETAL A LOS SONIDOS INTENSOS (en fetos de 32 semanas)

INTENSIDAD DE ESTÍMULO	RESPUESTA FETAL
< 100 dB SPL	Taquicardia
> 105 dB SPL	Taquicardia
	Movimientos de extremidades
	Movimientos de párpados
> 130 Db SPL	Lo anterior pero exagerado
Toda respuesta fetal a los estímulos sonoros es una señal de malestar	
dB : Decibeles	
SPL : Sound Pressure Level	

con cambios en el timbre y en el tono (7). Es decir, se amortiguan y se alteran. También consideremos que los sonidos que se generan dentro de la madre y que alcanzan al útero se asocian con la respiración, actividad cardiovascular, intestinal y laríngea de la madre, así como con los movimientos físicos maternos. Todos ellos son de baja frecuencia (< 100 Hz) y pueden alcanzar una intensidad de 90 dB SPL, mientras que los de alta frecuencia no superan 40 dB SPL (1).

Para quienes no están familiarizados con los términos de alta y baja frecuencia, es pertinente aclarar que de alta frecuencia son los sonidos agudos (la voz femenina es un ejemplo) y los de baja frecuencia son los sonidos graves (la voz masculina es un caso).

Los sonidos exógenos de baja frecuencia (< 250 Hz) tienen muy poca amortiguación (< 5 dB) e incluso pueden tener aumento de intensidad. Las frecuencias dentro de las cuales se encuentra la voz humana (250-4000 Hz) son atenuadas hasta por 20 dB, a una proporción de amortiguación de unos 6 dB/octava. Esto quiere decir que la voz femenina se amortigua más que la masculina. En otras palabras, es más factible que el feto escuche las voces graves (1).

Los patrones de respuesta fetal a los sonidos (estimulación acústica) incluyen taquicardia y movimientos de las extremidades y de los párpados, pero en fetos prácticamente a término y con estímulos de más 105 dB SPL (1,13). Con estímulos de menos de 100 dB SPL solamente taquicardias. Estas respuestas son señales de malestar fetal. Con estímulos de 130 dB hay respuestas exageradas en los fetos humanos que sugieren malestar y aún dolor (1,11) (Cuadro No 2).

Los movimientos y la taquicardia se relacionan con una situación de estrés, por tanto

inconveniente, recordando que la barrera hematoencefálica aún es inmadura y permite el paso de dicha hormona al espacio cerebral, sea esta de origen materno o fetal (la adrenalina atraviesa la placenta y se secreta en la leche) (14). Así también puede entenderse la necesidad de lograr una madre gestante relajada, que es lo que realmente se consigue con la música.

Si se trata de sonidos, sabemos que muchas veces los fetos se mueven cuando se realizan ecografías (que son ultrasónicas), lo que quiere decir que el agente perturbador es la onda sonora directamente sobre el SNC y no a través del proceso biológico de la audición. El sonido a nivel ultrasónico destruye estructuras, como es el caso de su uso para desintegrar los cálculos.

La diferencia de percepción auditiva entre un feto a término y el recién nacido es de alrededor de 30 dB, principalmente para sonidos de más de 500 Hz, de los que está bien aislado. Pero para sonidos de menos de 250 Hz el aislamiento es de 10-20 dB (1). Esto significa que para que una señal sea captada por el feto, en forma similar al neonato, se requiere una señal acústica de intensidad mayor en esa magnitud.

Debemos recordar que la capacidad auditiva humana está entre 16 16000 Hz, y la voz humana, en el lenguaje común, está entre 250-4000 Hz, con una intensidad entre 40-80 dB SPL (7,9) (Cuadro No 3).

El sistema auditivo inmaduro es particularmente sensible a la sobreestimulación durante e inmediatamente después de la

REFERENCIAS

1. Gerhardt KJ, Pierson LL, Abrams RM. Fetal response to intense sounds. En: Scientific Bases of Noise Induced Hypoacusia. V International Symposium on Noise Effects on Audition. Thieme, Nueva York 1966; 229-40.
2. Kisilevsky BS, Muir DW, Low JA. Human fetal response to sound as a function of stimulus intensity. *Obstet Gynecol* 1989; 158: 47-51.
3. Richards DS, Frentzen B, Gerhardt KJ, McCann ME, Abrams RM. Sound levels in the human uterus. *Obstet Gynecol* 1992; 80:186-90.
4. Romero R, Mazor M, Hobbins JC. A critical appraisal of fetal acoustic stimulation as an antenatal test for fetal wellbeing. *Obstet Gynecol* 1988; 71: 781-6.
5. Arey LB. Anatomía del desarrollo. Ed Vázquez, Buenos Aires 1958: 589-99.
6. Paparella, Shumrick. Embriology of the Ear. En: *Otorryn* 1980;1: 21-3.
7. Jou D, Liebot JE, Pérez García C. Física para ciencias de la vida. McGraw Hill-Interamericana, Madrid 1994: 273-89.

CUADRO N° 3

UMBRALES DE LA AUDICIÓN HUMANA

DE INTENSIDAD:
0 a 120 dB SPL
 2×10^{-5} a 2×10^{-2} N/m²
 10^{-12} a 10^0 W/m²

(voz humana entre 40 y 80 dB)

DE FRECUENCIA:
16 a 16000 Hz

(voz humana entre 250 y 4000 Hz)

maduración auditiva rápida (periodo crítico), por lo que se debe tener sumo cuidado, precisamente con sonidos que superen 100 dB SPL. Felizmente el feto está protegido y aislado de los sonidos de origen externo, durante toda la gestación, pero tal aislamiento disminuye en los dos últimos meses IU, como hemos referido en un párrafo anterior (1,5,6,7).

Algo muy importante es que se amortiguan los sonidos de alta frecuencia, pero no se amortiguan los sonidos de alta intensidad (15), como son los gritos muy fuertes, los golpes, la música muy fuerte (alto watiaje), sobre todo los golpes de las baterías de la "música moderna". El sistema de la audición humana no ha sido estructurado para los sonidos de alta intensidad, como son los de la industria y los producidos por los amplificadores. El sentido de la audición humana puede escuchar las voces más poderosas y los

8. Barrio C. Ontogénesis del sistema nervioso central. Pacheco J. *Ginecología y Obstetricia*, MAD Corp Lima 1999: 141-58.
9. Klinker R. Sentido del equilibrio, audición, lenguaje. Schmidt RF, Thews G. *Fisiología Humana*. Interamericana-McGraw Hill, Madrid 1992: 299-328.
10. Gore R. People like us *Nat Geograp*, 2000; 198: 90-117.
11. McEwen BS, Sapolsky RM. Stress and cognitive function. *Curr Opin Neurobiol* 1995; 5: 205-16.
12. Birchholz JC, Benacerraf BR. The development of the human fetal hearing. *Science* 1983;222: 516-8.
13. Richards DS. The fetal vibroacoustic stimulation test: an update. *Sem Perinatol* 1990; 14: 305-10.
14. McEvoy GK, Mc Quarrie GM. *Drug Information* 86. Soc Hosp Pharm, Bethesda 1986: 1389-91.
15. Lalande NM, Hetu R, Lambert J. Is Occupational noise exposure during pregnancy a high risk factor of damage to the auditory system of the fetus? *Am J Indust Med* 1986. 10:427-35.