

Música y cerebro: fundamentos neurocientíficos y trastornos musicales

Gema Soria-Urios, Pablo Duque, José M. García-Moreno

Resumen. La música está presente en todas las culturas y, desde edades tempranas, todas las personas tenemos las capacidades básicas para su procesamiento, el cual está organizado en módulos diferenciados que implican distintas regiones cerebrales. ¿Forman estas regiones rutas específicas del procesamiento musical? Como veremos, la producción y percepción musical implican gran parte de nuestras capacidades cognitivas, involucrando áreas del córtex auditivo y del córtex motor. Por otro lado, la música produce en nosotros respuestas emocionales que involucran distintas áreas corticales y subcorticales. ¿Se trata de las mismas rutas implicadas en el procesamiento de las emociones en general? Revisamos la bibliografía existente sobre estas cuestiones, así como las diferentes alteraciones neurológicas musicales que existen, desde la epilepsia musicogénica hasta la amusia, así como las diferentes posibilidades de tratamiento.

Palabras clave. Alucinación musical. Amusia. Disonía del músico. Emoción. Interacción auditivomotora. Memoria musical.

Introducción

Desde la Prehistoria, la música es fundamental en todas las culturas. Surgió de manera simultánea al lenguaje, debido a la necesidad de comunicarse y cooperar [1]. Actualmente, son dos las razones que llevan a estudiar la música y el cerebro: mejorar nuestro conocimiento sobre cómo se organiza y cómo lleva a cabo el procesamiento de la música.

La música es procesada mediante un sistema modular y distintas áreas del cerebro se encargan de procesar sus distintos componentes. Como veremos, en relación con la música y el cerebro, la amusia no es la única alteración, ya que existen otros fenómenos, como las alucinaciones musicales o la disonía focal del músico.

Neuropsicología cognitiva de la música

Según la Real Academia de la Lengua, 'música' significa 'melodía, ritmo y armonía, combinados', así como 'sucesión de sonidos modulados para recrear el oído'. Estas dos definiciones nos aportan dos concepciones distintas sobre el término. Por un lado, tenemos la música como un 'lenguaje' organizado que se basa en un sistema de reglas que coordinan una serie de elementos básicos y, por otro lado, tenemos la música como elemento cultural.

La música, como el lenguaje, es sintáctica y está formada por diversos elementos organizados jerár-

quicamente (tonos, intervalos y acordes). Las pruebas científicas muestran que música y lenguaje tienen representaciones corticales diferentes y, además, se pueden ver alteradas de manera independiente. Sin embargo, si nos centramos en el procesamiento sintáctico musical, vemos cómo se activa el área de Broca y su homóloga derecha. Aun así, nos encontramos con casos de amusia adquirida o congénita en los que no encontramos ningún tipo de alteración en el lenguaje, y casos de personas afásicas en las que no hay ningún tipo de alteración musical. La propuesta por parte de los autores dedicados a este campo es que se trata de un solapamiento en áreas de procesamiento sintáctico, áreas separadas de la representación sintáctica, que sería diferente en lenguaje y música [2].

Por otro lado, la ejecución musical, como acto motor voluntario, supone la implicación de áreas motoras que interactuarán con áreas auditivas, de manera que resulte posible controlar los actos motores que implican la correcta interpretación que está realizando el músico.

Todas las personas sin ningún problema neurológico nacen con la maquinaria necesaria para poder procesar la música. Esto lo podemos ver en los niños menores de un año, que son capaces de mostrar sensibilidad ante las escalas musicales y la regularidad temporal, les es más fácil procesar intervalos consonantes que los disonantes [3,4], y son capaces de percibir una estructura tonal, así como breves interrupciones en una melodía [5]. Todas estas capa-

Associació de Familiars de Persones amb Alzheimer i Altres Demències de Benifaió, Almussafes i Sollana, AFABALS (G. Soria-Urios); Benifaió, Valencia. Servicio de Daño Cerebral; Hospital Nisa Aguas Vivas (P. Duque); Carcaixent, Valencia. Servicio de Neurología; Hospital Universitario Virgen Macarena (J.M. García-Moreno). Sevilla, España.

Correspondencia:

Dra. Gema Soria Urios. AFABALS. Sant Josep de Calasanç, 3. E-46450 Benifaió (Valencia)

Fax:

+34 962 031 003.

E-mail:

gemasour@gmail.com

Aceptado tras revisión externa:

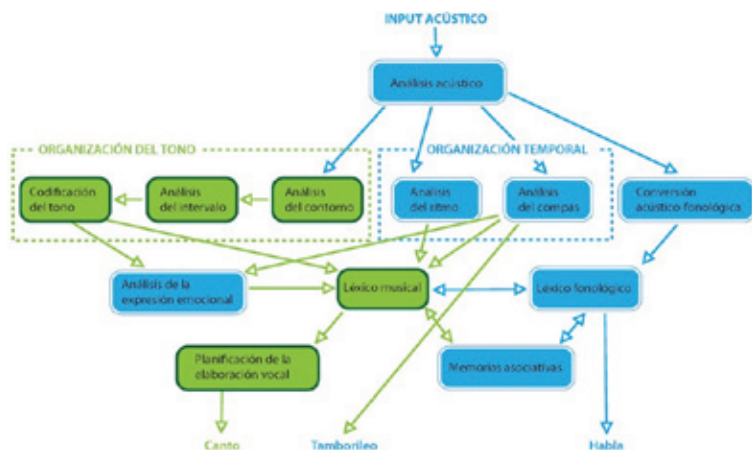
09.11.10.

Cómo citar este artículo:

Soria-Urios G, Duque P, García-Moreno JM. Música y cerebro: fundamentos neurocientíficos y trastornos musicales. Rev Neurol 2011; 52: 45-55.

© 2011 Revista de Neurología

Figura 1. Modelo de procesamiento modular de la música. En la imagen se representan las diferentes vías por las cuales viaja la información a través de los distintos componentes de la música [7]. Una determinada anomalía neurológica hará que se altere un componente musical en concreto, quedando así afectado el flujo de información que pasa a través de él.



ciudades se dan en el niño antes de que su lenguaje esté desarrollado, lo cual evidencia que la música tiene redes propias de procesamiento. Pero ¿qué requerimientos cognitivos supone la percepción y la ejecución musical? Lo veremos más adelante.

Los estudios realizados con pacientes con daño cerebral nos muestran que el procesamiento de la música es modular. Según Fodor [6], los módulos mentales pueden contar con las siguientes características: especificidad neuronal, ‘empaquetamiento’ de la información, especificidad para una determinada área cognitiva, procesamiento automático, rapidez y, en algunos casos, carácter innato. Podemos afirmar que el procesamiento de la música es modular, ya que está comprobado que pueden aparecer alteraciones selectivas de la música. Por lo tanto, afirmando la existencia de un sistema modular para el procesamiento musical, afirmamos que existe un sistema de la información mental específico para el procesamiento de la música, el cual está formado por módulos más pequeños específicos para procesar sus distintos componentes (Fig. 1) [7].

Cuando se analiza el *input* acústico, se accede al módulo específico para su análisis. En el caso de la música, son fundamentales el análisis de la organización temporal y el de la organización del tono. Así, cuando escuchamos una canción, primero realizamos un análisis acústico a partir del cual cada uno de los módulos se encargará de unos componentes:

- La letra de la canción será analizada por el sistema de procesamiento del lenguaje.
- El componente musical será analizado por dos subsistemas: organización temporal (analizamos el ritmo y el compás) y organización del tono (el análisis del contorno y los intervalos nos llevan a codificar el tono).

Los resultados que obtenemos de estos dos análisis nos llevan directamente al ‘léxico musical’, al análisis de la expresión emocional y a mover nuestro pie al ritmo de los instrumentos (análisis del ritmo y compás). El léxico musical es el almacén en el cual almacenamos toda la información musical que vamos recibiendo a lo largo de nuestra vida, y es el que nos proporcionará el reconocimiento de una canción [8]. Si lo que queremos es ponernos a cantar dicha canción, nuestro léxico musical se conectará con el fonológico, de manera que formen una planificación vocal que nos llevará al canto. Por otro lado, también podemos tener la experiencia de que esta canción nos recuerde, por ejemplo, a un viaje realizado. En este caso, estaría activándose la ‘memoria asociativa’, también relacionada con el léxico musical.

Neuroanatomía de la música

Percepción y reconocimiento de la música

Cuando la música se introduce en el interior de nuestro oído, la información viaja a través del tallo cerebral y el mesencéfalo hasta llegar al córtex auditivo [9]. La información es procesada por el córtex auditivo primario (AB 41 y 42, incluida la parte media del giro temporal superior) y el córtex auditivo secundario (AB 22).

Las pruebas científicas nos muestran que la percepción musical está basada en dos procesamientos distintos por dos subsistemas neurales diferentes: organización temporal y organización del tono [10].

Tono

El tono es lo que conocemos como un sonido musical diferenciado, pero es la secuenciación de diversos tonos lo que nos permite percibir una melodía, y si esta secuencia se ve alterada tendremos una percepción distorsionada de la pieza musical. Los distintos análisis que podemos realizar con el tono son numerosos e implican diversas áreas auditivas primarias y secundarias, las cuales interactúan con áreas frontales, predominantemente en el hemisferio derecho [11-15].

Existe una peculiaridad entre 1 de cada 10.000 personas, principalmente músicos profesionales, que conocemos como 'tono absoluto' [15]. Supone la capacidad que tienen para identificar con precisión la posición de un determinado tono en la escala sin tener como referente ningún otro tono. Este hecho implica que la persona cuenta con una estrecha y fija categorización de los tonos y posee un nombre para cada una de estas categorizaciones. Pero no es suficiente 'aprender' los tonos y darles nombre. Resulta necesario para desarrollar la capacidad del tono absoluto estudiar música desde temprana edad. Si el aprendizaje no se lleva a cabo antes de los 9-12 años, una persona con la predisposición a desarrollar la habilidad del tono absoluto nunca lo hará (factores genéticos).

Ritmo

La organización temporal de una pieza musical se basa en dos relaciones fundamentales: fraccionar una secuencia en grupos basándonos en su duración temporal y la extracción de una regularidad temporal subyacente o compás. En ello no sólo están involucradas las áreas auditivas, ya que también participan el cerebelo y los ganglios basales, así como el córtex premotor dorsal y el área motora suplementaria, que se encargan del control motor y la percepción temporal [16-18]. Podemos afirmar, pues, que contamos con interacciones entre los sistemas auditivo y motor para el análisis del ritmo que se activan cuando escuchamos música o la imaginamos.

Producción e interpretación musical

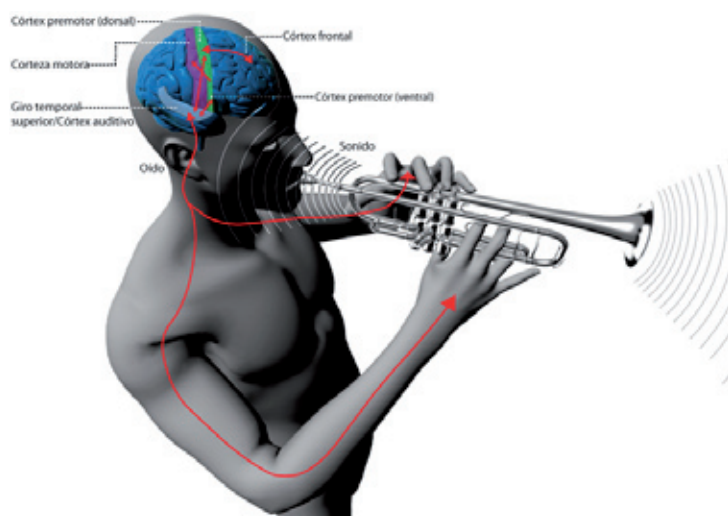
La interpretación musical incluye diferentes tareas, que combinan habilidades motoras y cognitivas además del componente perceptivo, emocional y la memoria.

Canto

La producción verbal, ya sea cantada o hablada, es mediada por el mismo sistema, pero la ruta para la producción del habla y la producción melódica son distintas. Al igual que podemos encontrar afásicos que pueden cantar, nos encontramos con amúsicos que no tienen ninguna alteración en el habla y, sin embargo, no son capaces de cantar.

Diversos estudios con tomografía por emisión de positrones han demostrado que esta diferenciación entre canto y habla es posible. El canto implica un incremento en la actividad de estructuras motoras bilaterales con predominancia en el hemisferio derecho, particularmente en regiones auditivas, insulares y premotoras [19].

Figura 2. Interacciones auditivomotoras durante la producción musical. En la imagen aparecen representadas las interacciones auditivomotoras que lleva a cabo nuestro cerebro: la proalimentación y la retroalimentación. El sistema motor controla los movimientos necesarios para producir sonidos con el instrumento. Estos sonidos son procesados por el circuito auditivo, el cual devuelve la información necesaria para que se realicen los reajustes motores oportunos para perfeccionar la ejecución.



Interpretación musical

La interpretación musical requiere que el músico cuente con tres controles motores básicos: coordinación, secuenciación y organización espacial del movimiento [20]. La coordinación implica una buena organización del ritmo musical, y la organización espacial y secuenciación del movimiento suponen que el músico toque las diferentes notas en su instrumento musical. Diversos estudios con neuroimagen funcional y con pacientes con daño cerebral relacionan la coordinación con diversas regiones corticales y subcorticales, incluyendo el cerebelo, los ganglios basales, el área motora suplementaria y el córtex premotor dorsal. Respecto a la secuenciación de los movimientos, incluimos cerebelo, ganglios basales, área motora suplementaria y área premotor suplementaria, córtex premotor y córtex prefrontal. Se ha podido observar que aquellas secuencias más complejas requieren la actividad de los ganglios basales, el córtex premotor dorsal y el cerebelo. En cuanto a la organización espacial de los movimientos para tocar el instrumento, supone la activación del córtex parietal, sensoriomotor y premotor, ya que implica la integración de información espacial, sensorial y motora (Fig. 2).

Al tocar un instrumento, e incluso al escuchar música, nuestro cerebro lleva a cabo interacciones

auditivomotoras. Estas interacciones pueden ser de dos tipos: la proalimentación y la retroalimentación. La proalimentación consiste en que el sistema auditivo influye predominantemente en el acto motor, a menudo de manera predictiva [21]. Por otro lado, la retroalimentación radica en que al tocar o cantar, el músico debe controlar el tono continuamente, escuchando y realizando los ajustes motores apropiados.

¿Cuál es ese nexo de unión entre el sistema auditivo y el motor?: el córtex premotor, área implicada en las transformaciones sensoriomotoras. La parte ventral del córtex premotor y regiones posteriores del giro inferoposterior son importantes para el procesamiento de sonidos relacionados con un acto motor. Para que ocurra esta activación, la persona tiene que tener identificada una relación sonido-acción [20]. Por otro lado, la parte dorsal del córtex premotor está implicada en las interacciones auditivomotoras durante el tamborileo, lo cual sugiere que está implicada en extraer información de mayor nivel de los estímulos auditivos que implican acciones temporales; por último, la parte medial del córtex premotor, junto con el área somatosensorial y el VI lóbulo del cerebelo, se activan con sonidos que no están relacionados con ninguna acción motora (escucha pasiva) [22].

Una parte muy importante de la producción musical es la capacidad para leer partituras. Sabemos que este tipo de lectura es diferente (neurológica y funcionalmente hablando) a la lectura de letras y números. Estudios con pacientes con daño cerebral han mostrado que lesiones en estructuras del hemisferio izquierdo provocan alexia musical [23], mientras que estudios con resonancia magnética funcional han indicado que regiones temporooccipitales derechas están implicadas en descifrar una partitura frente a un teclado [24]. Asimismo, también desempeña un papel importante el córtex parietal superior, ya que integra la información visual y auditiva para planificar el acto motor [25]. La lectura de una partitura requiere que la persona procese gran cantidad de información, que será utilizada inmediatamente: el músico ha de interpretar el tono y duración de las notas teniendo en cuenta la clave y el compás, anticipar cómo sonará la música y generar un plan motor para su ejecución. En una partitura, ritmo y tono se representan de manera diferente. Al igual que tienen representación diferente en la partitura, también están representados de forma distinta en el cerebro, ya que alteraciones en la lectura del ritmo no implican alteraciones en la lectura del tono y viceversa [23]. Cuando el músico ejecuta la par-

titura a la vez que está leyéndola, la activación cortical es amplia, participando regiones temporooccipitales, encargadas del control del tono, y factores visuoespaciales, que permitirán la correcta ejecución motora de las notas que se están leyendo [23-25].

Imaginería musical

La imaginería musical consiste en imaginar la música en nuestra cabeza o en imaginar que estamos tocando un instrumento. Los distintos estudios llevados a cabo indican que son las mismas áreas cerebrales las implicadas tanto para percibir o realizar el sonido como para imaginarlo. Respecto a la lateralización hemisférica, sabemos que, cuando se trata de canciones bien conocidas por nosotros, incluida la letra, la activación es bilateral, muy probablemente porque implica el componente melódico y el verbal [26]. Por otro lado, si se trata de música instrumental, se activa el córtex auditivo derecho, relacionado con el procesamiento del tono [28].

¿Cómo se pone en marcha la imaginería musical? Es posible gracias a las interacciones entre el córtex auditivo y el córtex frontal [27-29]. Cuando intentamos acordarnos de una canción, activamos el córtex frontal y, simultáneamente, el córtex auditivo nos aporta la información necesaria para discernir entre el sonido imaginado y el real.

Cuando un músico imagina que está tocando una pieza familiar, se ha podido confirmar que se activan los lóbulos frontales, el cerebelo, el lóbulo parietal y el área motora suplementaria [30]. No podemos dejar de lado el hecho de que tanto áreas auditivas como motoras se activan cuando un músico imagina que toca su instrumento, ya que se encuentran integradas (cuando el músico está practicando mentalmente un instrumento puede 'oír' cómo suena).

Memoria musical

El aprendizaje de un instrumento, o de una nueva pieza musical, supone una implicación consciente de la persona que lo está realizando, pero con dedicación y tiempo la ejecución puede llegar a automatizarse. La repetición, el ensayo, el ritmo y la secuenciación son esenciales, pero para aprender una nueva pieza musical los músicos utilizan diversas técnicas auditivas, cinestésicas y visuales, junto con las reglas de la música, además del sentimiento y la intencionalidad. Una vez aprendida e incorporada al repertorio, una pieza musical puede interpretarse automáticamente.

Por otro lado, resulta necesario para poder interpretar una pieza musical mantener *on line* información sobre el tono, es decir, en cierto modo, la *'working memory'* para el tono. Diversos estudios lesionales implican al córtex auditivo derecho [31], así como a áreas frontales, en particular áreas inferofrontales y dorsolaterales [32,33], en el mantenimiento *on line* de la información musical.

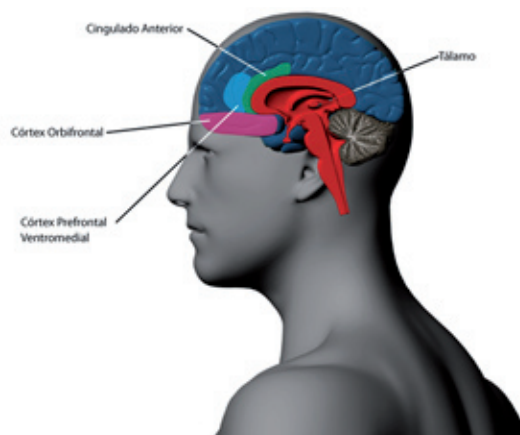
Otro aspecto que no podemos dejar de lado es la familiaridad con las piezas musicales. Todas las personas contamos con un 'léxico musical' en el cual se almacena nuestra experiencia, con canciones, piezas musicales, etc. Obviamente, los oyentes no recordamos cada detalle de una pieza, pero sí recordamos lo esencial, que hace que la reconozcamos. Estudios con neuroimagen han permitido observar que el surco temporal superior derecho e izquierdo, el *planum temporale*, el área motora suplementaria y el giro inferofrontal izquierdo son áreas implicadas en el reconocimiento de melodías familiares, siendo el área crucial el surco temporal superior derecho [8].

Emociones

La música tiene la capacidad de provocar en todos nosotros respuestas emocionales. Las emociones pueden clasificarse en dos dimensiones, según su valencia (positivas o negativas) y su intensidad (alta o baja). Las emociones positivas inducen conductas de aproximación y las negativas conductas de retirada. Ambas respuestas están mediadas por el córtex prefrontal ventromedial (derecho para la aproximación e izquierdo para la retirada) [34]. La música no supone conductas de aproximación o retirada, ya que no induce emociones, sino que comunica información emocional. No obstante, sí observamos las respuestas fisiológicas ante las emociones y las respuestas emocionales que provoca la música; la música induce cambios fisiológicos en nosotros como cualquier otro estímulo emocional [35].

Datos obtenidos de pacientes con daño cerebral bilateral del córtex auditivo muestran que el procesamiento de la música es diferente al de las emociones evocadas por ésta, ya que estos pacientes no eran capaces de reconocer melodías familiares para ellos antes del accidente cerebral, pero sí que podían clasificarlas como alegres o tristes [36]. Existen diversas teorías que intentan explicar cómo nuestro cerebro procesa las emociones. Una de ellas es la clásica ruta subcortical, en la que el sistema límbico desempeña un papel fundamental [36]. Contamos con suficientes datos para confirmar que el núcleo *accumbens* se activa cuando escuchamos música

Figura 3. Procesamiento emocional a partir de la música. El córtex orbitofrontal y el córtex prefrontal ventromedial, junto con el cíngulo anterior, en conexión con áreas subcorticales, están implicados en el procesamiento de las emociones a partir de la música.



agradable y que decrece la activación de la amígdala cuando escuchamos música relajante. Asimismo, la amígdala está implicada en la música de suspense. Diversos estudios se han centrado en el análisis de la disonancia (percepción desagradable), y apoyan que el giro parahipocámpal y la amígdala son estructuras clave [37,38]. Pacientes con resecciones en el córtex parahipocámpal derecho o izquierdo juzgaron erróneamente la música disonante, la cual identificaron como agradable. En la música de suspense, como comentábamos anteriormente, desempeña un papel muy importante la amígdala. Hay casos en los que pacientes con escisión del lóbulo temporal medial derecho, incluida la amígdala, no son capaces de reconocer señales de peligro a partir de la música [37,38].

Además de los sistemas subcorticales, contamos con diversas estructuras corticales implicadas en el procesamiento emocional a partir de la música, como el córtex orbitofrontal, el córtex temporal superior y el cíngulo anterior (Fig. 3) [39]. La amígdala y el córtex orbitofrontal cuentan con conexiones recíprocas y, a su vez, están conectados con representaciones corticales de todas las modalidades sensoriales, por lo que forman un circuito funcional que integra información sensorial. Sabemos que el modo en el que están escritas las obras musicales implica que sean alegres o tristes, respectivamente. La correcta identificación de las melodías según el modo en el que están compuestas implica el giro

frontal inferior, el tálamo medial y el cíngulo anterior dorsal [40]. Otra prueba de la implicación del córtex orbitofrontal y el córtex prefrontal ventromedial son los signos y síntomas que nos encontramos en muchos casos de demencia frontotemporal, en la cual pueden aparecer cambios en los gustos musicales, así como musicofilia repentina.

Alteraciones neurológicas musicales positivas

Epilepsia musicogénica

La epilepsia inducida por la música es una forma rara de la epilepsia refleja compleja [41]. Podemos encontrarnos con diversos desencadenantes: la cualidad del sonido, el impacto emocional de la música en sí, etc., pudiendo ser específica para un determinado género, pieza o voz que canta. La epilepsia musicogénica es más frecuente en mujeres (54%) y suele iniciarse en la edad adulta (edad media de 27,7 años). Asimismo, en el 75% de los casos, se ha observado que el foco epiléptico se encuentra en el lóbulo temporal, más comúnmente en el derecho [42]. El control de estas crisis es posible mediante antiepilépticos y controlando el desencadenante, ya que, con el cese de la música, la crisis desaparece en la mayoría de los casos. Respecto al uso de fármacos antiepilépticos, la combinación de carbamazepina y topiramato parece haber dado resultados positivos [42], aunque, en casos farmacoresistentes, el tratamiento más efectivo ha resultado ser la neurocirugía, con una lobectomía temporal parcial [43].

Alucinaciones musicales

Las alucinaciones musicales representan un trastorno en el procesamiento de sonidos complejos. Las personas que las padecen perciben sonidos complejos en forma de música a consecuencia de un sonido o en ausencia de cualquier estímulo acústico.

Habitualmente, las personas que padecen una alucinación musical piensan que la música tiene un origen externo, pero cuando ven que no encuentran la fuente, deducen que debe estar dentro de su cabeza, que proviene 'de su cerebro'. Estas alucinaciones, además de esta aparente exterioridad, suelen ser constantes, repetitivas, involuntarias e intrusivas, y puede que tengan significado o no [44-46].

Stewart et al [44] realizaron una revisión sobre los distintos trastornos en la percepción musical, dividiendo las alucinaciones musicales en tres grupos

según el tipo de enfermedad a la que se asocian: las asociadas a trastorno neurológico, las asociadas a trastorno psiquiátrico y las asociadas a sordera.

Las alucinaciones musicales asociadas a trastorno neurológico son poco habituales, suelen relacionarse con lesiones en el tronco del encéfalo o en uno de los dos hemisferios, predominantemente el derecho. También pueden ir asociadas a focos epilépticos y, aunque resulta muy raro, en ocasiones también se han descrito casos de personas con enfermedades degenerativas (demencia tipo Alzheimer) [44]. Asimismo, se han descrito casos debidos al abuso de drogas [44].

Como sabemos, en los trastornos psiquiátricos es más común que nos encontremos con alucinaciones audioverbales, pero también con alucinaciones musicales. Se han descrito casos en depresión, esquizofrenia, trastorno obsesivo-compulsivo y alcoholismo.

La sordera es el factor al que más comúnmente se asocian las alucinaciones musicales [44]. Se trata de personas de avanzada edad, en su mayoría mujeres, que oyen melodías familiares, como canciones populares e himnos, que suelen ser melodías coherentes (tono y ritmo), con o sin letra [45,46].

En el artículo de revisión que comentábamos anteriormente [45] se recogen diversas posibles causas subyacentes a las alucinaciones musicales:

- Aquellos casos que evolucionan de un *tinnitus* podrían tener un origen coclear [45].
- Las alucinaciones musicales complejas que, además, están relacionadas con la experiencia musical previa, sugieren que están implicados mecanismos centrales de procesamiento.
- La activación inapropiada de mecanismos perceptivos y de imaginación musical, tal y como propone Griffiths [45], provocaría una alteración en la red córtex frontal-córtex auditivo, red implicada en la imaginación musical.

Griffiths observó en sus pacientes que éstos presentaban un incremento en la perfusión del lóbulo temporal posterior bilateral, de los ganglios basales derechos, del cerebelo y del córtex inferofrontal, lo cual supone una activación generalizada de las mismas áreas que se activan cuando escuchamos música real.

El tratamiento que más efectividad ha mostrado según la experiencia de diversos autores es el uso de amplificadores auditivos. En otros casos, con base neurológica o psiquiátrica, el uso de fármacos ha obtenido resultados dispares, siendo útiles en algunos casos anticonvulsivos como la gabapentina o antipsicóticos como la quetiapina.

Otras alteraciones neurológicas musicales

Distonía focal en los músicos

La distonía del músico, también llamada ‘calambre del músico’, supone la pérdida de la coordinación de los dedos de la mano debido a la flexión y extensión involuntaria de los dedos y a otras posiciones anómalas de la mano o el brazo (implica dedos, mano o brazo). Asimismo, también nos podemos encontrar con casos que afecten a la zona oromandibular, con lo que aparecen dificultades para realizar la conformación voluntaria labial necesaria para la correcta ejecución musical.

Esta alteración está presente en un 1% de los músicos profesionales, pudiendo conducir al abandono de su carrera profesional [47]. Al tocar, pueden sentir que no son capaces de controlar el movimiento, enlentecimiento en los dedos, puede aparecer pérdida de la fuerza en la mano, tensión, dolor, temblor, etc., lo que altera considerablemente su capacidad para seguir tocando el instrumento.

En la aparición de la distonía están implicados muchos factores. Se ha asociado a regímenes de entrenamiento muy intensos, por lo que se considera una forma de calambre ocupacional. Hallet describe que la representación de las manos en el córtex sensorial está desorganizada, tanto funcional como anatómicamente [48]. La representación cortical de los dedos se desordena y superpone, aparece un deterioro de la discriminación sensorial y la pérdida del control motor, con lo que el *input* sensorial y el *output* motor son anormales, lo que dificulta enormemente la capacidad para tocar un instrumento. Respecto a la implicación de la genética, existe un posible componente hereditario, ya que un 10% de los pacientes con distonía del músico tiene historia familiar positiva de esta enfermedad [49], pero las pruebas científicas tan sólo pueden afirmar que la distonía del músico puede que comparta una causa genética subyacente con otras formas de distonías focales y probablemente otros tipos de trastornos del movimiento [49].

La teoría mayormente aceptada sobre el origen de la distonía focal es la basada en cambios plásticos en el cerebro debidos a los movimientos repetitivos llevados a cabo en el entrenamiento, con lo que cabe esperar que un tratamiento basado en el reaprendizaje sea efectivo [50], pero esto resulta muy complicado, ya que implica reaprender a tocar de manera diferente, tarea que es realmente compleja porque el músico tiene unos patrones de movimiento establecidos que tienen su representación cortical correspondiente y va a necesitar mucho entrenamiento

para poder modificarlos. La *Sensory Motor Retuning* (SMR) es una terapia específica para el tratamiento de la distonía focal, cuyo principal objetivo es potenciar conexiones neuronales no distónicas, limitando las distónicas mediante el uso de férulas especialmente construidas para su uso al practicar el instrumento musical [51,52]. Esta terapia, basada en la plasticidad cerebral, se realiza en el mismo contexto en el que se adquirió la distonía, es decir, utilizando el propio instrumento musical y realizando movimientos repetitivos, promoviendo siempre las modificaciones en el sentido deseado, buscando la funcionalidad del movimiento. Tal y como han podido observar los precursores de esta terapia, el tratamiento produce cambios corticales, observándose mediante magnetoencefalografía cómo la representación en el córtex de los dedos distónicos aparece reorganizada, de manera similar a la mano no afectada [53,54]. No obstante, por el momento, no se ha constatado la estabilidad a largo plazo de estos resultados. No existen, de hecho, estudios comparativos entre esta terapia fisiológica y el tratamiento con toxina botulínica, que se considera también en estas distonías el tratamiento de elección. Es posible que un tratamiento combinado, esto es, la SMR junto con las infiltraciones de toxina botulínica (que relajarían los músculos distónicos) favorezca más los cambios plásticos corticales y la respuesta al tratamiento sea mayor, aspecto científico no aclarado todavía [55].

Alteraciones neurológicas musicales negativas: amusia

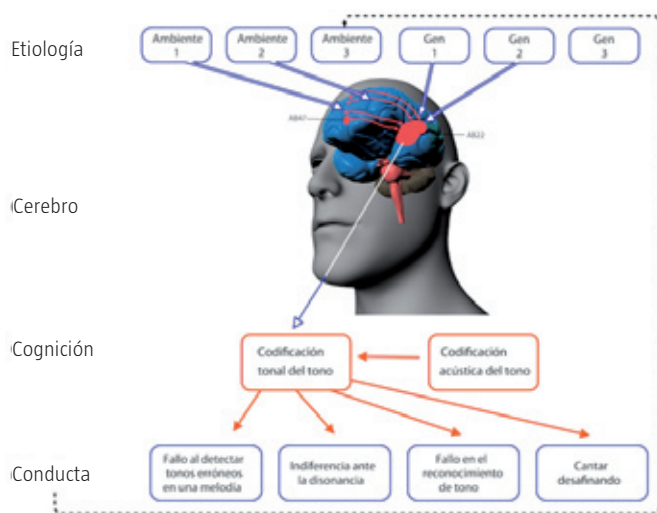
La amusia puede ser congénita o adquirida y cuenta con numerosas variedades.

Con amusia adquirida nos referimos a una alteración secundaria a un daño cerebral y que puede darse en la percepción musical, en la producción musical o en la lectura o escritura de la música. Podemos encontrarnos diversas alteraciones [56], dependiendo de si se encuentra dañado el funcionamiento motor o expresivo:

- *Amusia oral-expresiva*: resulta imposible cantar, silbar o tararear un tono.
- *Amusia instrumental o apraxia musical*: cuando se ve inhabilitada la capacidad para tocar un instrumento.
- *Agrafía musical*: no resulta posible escribir música.

Por otro lado, la afectación puede ser de la dimensión perceptiva:

Figura 4. Amusia congénita perceptiva. En el nivel de la conducta, vemos los déficit que podemos encontrar en una persona amúsica. Estos déficit vienen dados por una alteración en la codificación del tono (nivel cognitivo), que puede venir provocada por una alteración en la conectividad entre la corteza auditiva (AB 22) y el giro frontal inferior (AB 47), la cual puede estar determinada por los genes, que, a su vez, interactúan con el ambiente.



- *Amusia sensorial o receptiva*: altera la capacidad para discriminar entre tonos.
- *Amusia amnésica*: interfiere la capacidad para reconocer canciones familiares.
- *Alexia musical*: se altera la capacidad para leer música.

Mientras que la amusia adquirida puede afectar a diversos componentes, la amusia congénita solamente afecta al tono. Diversas publicaciones señalan que la amusia congénita afecta a un 4% de la población. Estas personas, desde su nacimiento, presentan déficit en la percepción de las melodías, así como en su producción, no pudiéndose explicar por pérdida de oído, daño cerebral, déficit intelectual o carencia de exposición a la música.

¿Qué alteraciones podemos encontrar en una persona amúsica? Los amúsicos no son capaces de reconocer una melodía familiar sin la ayuda de las letras, no se dan cuenta de que están cantando desafinando, no son capaces de diferenciar si dos melodías son iguales o diferentes, especialmente en lo referente al tono. Asimismo, tienen mucha dificultad para reconocer alteraciones en el tono de una melodía y también para percibir que un acorde es disonante [57]. Más específicamente, las personas

amúsicas no son capaces de detectar una desviación del tono menor de un semitono [58]. Por otro lado, los amúsicos perciben tan bien como los no amúsicos los patrones rítmicos [59,60]. En un estudio, Dalla Bella et al [61] comprobaron que los amúsicos, cuando cantan, realizan mayor número de errores en el control del tono en general, mientras que no tenían tantas dificultades para controlar el ritmo. Por otro lado, hemos visto que la memoria para el tono es importante en el procesamiento de una melodía. Gosselin et al se preguntaron si había algún tipo de alteración en la memoria para el tono en las personas amúsicas [62] debido a su alteración en la percepción del tono y, efectivamente, confirmaron que tienen dificultad en la memoria para el tono, así como una mayor susceptibilidad a la interferencia.

Peretz et al [63] indagaron un poco más en la percepción del tono por parte de las personas amúsicas y concluyeron que éstas cuentan con los circuitos necesarios para el correcto procesamiento del tono, pero no son capaces de percibir los errores. Esta afirmación nos orienta hacia la intervención terapéutica, que, aunque los adultos amúsicos es muy complicado que aprendan estructuras tonales, durante la infancia sí que puede resultar más plausible, de modo que se intente compensar la vulnerabilidad neurogenética.

Peretz propone un modelo explicativo de la amusia congénita perceptiva [64], en el cual los déficit de una persona amúsica vienen determinados por la alteración en la planificación del tono, que probablemente se deba a una alteración en la conectividad del área auditiva primaria y el giro frontal inferior, que puede venir determinada por los genes, los cuales interactúan con el ambiente (Fig. 4). En un estudio publicado en 2007, Peretz et al [65] confirmaron que la amusia, como trastorno del tono, tenía un componente hereditario. En familias amúsicas, vieron que el 39% de familiares de primer grado tenía el mismo trastorno, mientras que en las familias control sólo se daba en el 3%. Estos datos son consistentes con los obtenidos en un estudio con gemelos, en el que vieron que compartir genes es más importante que compartir el ambiente, con una heredabilidad del 70-80% [66].

Dos estudios publicados por Hyde et al [67,68] obtuvieron resultados muy interesantes sobre la morfología cerebral de las personas amúsicas, y se encontró que los amúsicos tienen dos peculiaridades:

- Menor cantidad de sustancia blanca en el córtex frontal inferior derecho (AB 47).
- Mayor espesor del córtex (mayor sustancia gris) en esta misma área y en el área auditiva derecha (AB 22).

Estas anomalías de la migración neuronal casan con la importancia de las áreas 47 y 22 para el procesamiento del tono. La amusia congénita parece ser un trastorno del neurodesarrollo que puede explicarse por un fallo en la comunicación de la red temporofrontal derecha o quizás bilateral. A su vez, Mandell et al [69] encontraron una menor cantidad de sustancia gris en las áreas homólogas en el hemisferio izquierdo.

La amusia adquirida, como alteración de una función neurocognitiva, es susceptible de ser rehabilitada. La rehabilitación de las amusias no ha suscitado demasiado interés entre los neurocientíficos, debido a la dificultad que supone plantear un programa de rehabilitación al respecto y a que, si no se trata de músicos profesionales, este tipo de disfunción no supone una alteración importante en la vida diaria de la persona afectada.

La primera y única publicación hasta la fecha respecto a la rehabilitación del procesamiento musical es la realizada por Weill-Chounlamounry et al [70]. El programa de rehabilitación era computarizado, utilizando tareas de discriminación melódica dentro del paradigma de aprendizaje sin error con *vanishing cues* visuales, el cual consiste en ofrecer pistas visuales que van desapareciendo de forma gradual, de manera que se evita que el paciente realice errores y que éstos sean reforzados. Tras completar el programa de rehabilitación, comprobaron que el paciente había mejorado en la valoración neuropsicológica, efecto que no se puede explicar por el efecto de la recuperación espontánea debido al número de años desde el daño cerebral. Siete meses después pudieron comprobar que se mantenían los resultados y que el paciente había vuelto a escuchar su música favorita de nuevo.

Respecto al tratamiento de la amusia congénita, no existe ninguna publicación al respecto. En lo referente al tratamiento con fármacos, en la actualidad no se ha publicado ningún trabajo en el cual se haya probado la acción de psicofármacos en los pacientes con amusia adquirida o congénita.

Conclusiones

El procesamiento neurocognitivo de la música supone una interacción de múltiples funciones neuropsicológicas y emocionales, que tienen que actuar de forma paralela para que se dé como se debe dar y el resultado sea el esperado. Así, resulta imposible disociar unos componentes cognitivos de otros sin que se produzca una 'distorsión' neuropsicológica.

Según qué aspecto, cualidad o componente de la música estemos analizando (tono, organización temporal, secuencia motora, canto, etc.), intervienen distintas áreas cerebrales, no ya corticales, sino también de los ganglios basales o el cerebelo. Por otro lado, la música, como estímulo emocional en sí mismo, puede activar zonas diferentes del cerebro según se trate de una música agradable (núcleo *accumbens*, 'el núcleo del placer') o desagradable (amígdala, 'el núcleo del displacer').

Profundizar en aspectos básicos musicales y en su interacción con diferentes aspectos cerebrales (estructura, química, vías fisiológicas, etc.) es fundamental para llegar a conocer aspectos de evaluación, diagnóstico y diferentes tratamientos de alteraciones musicales, además de la información que nos proporcionaría para conocer el funcionamiento íntimo de nuestro cerebro.

Los trastornos musicales, al ser trastornos raros y no afectar de manera directa sobre nuestra vida cotidiana, son poco conocidos. De hecho, las exploraciones neuropsicológicas habituales no incluyen la valoración de la función musical como otra función neurocognitiva más.

Por último, los trastornos musicales están actualmente clasificados según la tipología clásica de Brust, aunque no tenemos en la actualidad criterios diagnósticos específicos para cada una de estas alteraciones, lo que sería no sólo deseable, sino principal, ya que un mejor conocimiento de estos trastornos permitiría un ahondamiento en los mecanismos subyacentes y, con ello, el desarrollo de tratamientos eficaces para cuadros que, como la distonía del músico, pueden llegar a ser muy invalidantes.

Bibliografía

1. Zatorre RJ, Peretz I eds. The biological foundations of music. *Ann N Y Acad Sci* 2001; 930.
2. Patel AD. Language, music, syntax and the brain. *Nat Neurosci* 2003; 6: 674-81.
3. Trehub SE. The developmental origins of musicality. *Nat Neurosci* 2003; 6: 669-73.
4. Trehub SE. Musical predispositions in infancy: an update. In Peretz I, Zatorre RJ, eds. *The cognitive neuroscience of music*. New York: Oxford University Press; 2003. p. 3-20.
5. Saffran JR. Mechanisms of musical memory in infancy. In Peretz I, Zatorre RJ, eds. *The cognitive neuroscience of music*. New York: Oxford University Press; 2003. p. 32-41.
6. Fodor J. *The modularity of mind*. Cambridge: MIT Press; 1983.
7. Peretz I, Coltheart M. The modularity of music processing. *Nat Neurosci* 2003; 6: 688-91.
8. Peretz I, Gosselin N, Belin P, Zatorre RJ, Plailly J, Tillmann B. Music lexical networks. The cortical organization of music recognition. *The neurosciences and music III - disorders and plasticity*. *Ann N Y Acad Sci* 2009; 1169: 256-65.
9. Izquierdo MA, Oliver DL, Malmierca MS. Mecanismos de plasticidad (funcional y dependiente de actividad) en el cerebro auditivo adulto y en desarrollo. *Rev Neurol* 2009; 48: 421-9.

10. Peretz, I, Zatorre, JR. Brain organization for music processing. *Annu Rev Psychol* 2005; 56: 89-114.
11. Drayna D, Manichaikul A, De Lange M, Snieder H, Spector T. Genetic correlates of musical pitch recognition in humans. *Science* 2001; 291: 1969-72.
12. Parsons LM. Exploring the functional neuroanatomy of music performance, perception, and comprehension. In Peretz I, Zatorre, RJ, eds. *The cognitive neuroscience of music*. New York: Oxford University Press; 2003. p. 247-68.
13. Zatorre RJ, McGill J. Music, the food of neuroscience? *Nature* 2005; 434: 312-5.
14. Zatorre RJ. Neural specializations for tonal processing. In Peretz I, Zatorre, RJ, eds. *The cognitive neuroscience of music*. New York: Oxford University Press; 2003. p. 231-46.
15. Zatorre RJ. Neural specializations for tonal processing. *Ann N Y Acad Sci* 2001; 930: 193-210.
16. Chen JL, Zatorre RJ, Penhune VB. Interactions between auditory and dorsal premotor cortex during synchronization to musical rhythms. *Neuroimage* 2006; 32: 1771-81.
17. Penhune VB, Zatorre RJ, Feindel WH. The role of auditory cortex in retention of rhythmic patterns as studied in patients with temporal lobe removals including Heschl's gyrus. *Neuropsychologia* 1999; 37: 315-31.
18. Penhune VB, Zatorre RJ, Evans AC. Cerebellar contributions to motor timing: a PET study of auditory and visual rhythm reproduction. *J Cogn Neurosci* 1998; 10: 752-65.
19. Perry DW, Zatorre RJ, Petrides M, Alivisatos B, Meyer E, Evans AC. Localization of cerebral activity during simple singing. *Neuroreport* 1999; 10: 3979-84.
20. Zatorre RJ, Chen JL, Penhune VB. When the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production. *Nat Rev Neurosci* 2007; 8: 547-58.
21. Large EW, Palmer C. Perceiving temporal regularity in music. *Cognit Sci* 2002; 26: 1-37.
22. Chen JL, Penhune VB, Zatorre RJ. Listening to musical rhythms recruits motor regions of the brain. *Cereb Cortex* 2008; 18: 2844-54.
23. Midorikawa A, Kawamura M, Kezuka M. Musical alexia for rhythm notation: a discrepancy between pitch and rhythm. *Neurocase* 2003; 9: 232-38.
24. Schön D, Anton JL, Roth M, Besson M. An fMRI study of music sight-reading. *Neuroreport* 2002; 13: 2285-9.
25. Sergent J, Zuck E, Terriah S, MacDonald B. Distributed neural network underlying musical sight-reading and keyboard performance. *Science* 1992; 257: 106-9.
26. Zatorre RJ, Evans AC, Meyer E. Neural mechanisms underlying melodic perception and memory for pitch. *J Neurosci* 1994; 14: 1908-19.
27. Zatorre RJ, Belin P, Penhune VB. Structure and function of auditory cortex: music and speech. *Trends Cogn Sci* 2002; 6: 37-46.
28. Halpern AR. Cerebral substrates of musical imagery. In Peretz I, Zatorre, RJ, eds. *The cognitive neuroscience of music*. New York: Oxford University Press; 2003. p. 217-30.
29. Zatorre RJ, Halpern AR. Mental concerts: musical imagery and auditory cortex. *Neuron* 2005; 47: 9-12.
30. Langheim FJ, Callicott JH, Mattay VS, Duyn JH, Weinberger DR. Cortical systems associated with covert musical rehearsal. *Neuroimage* 2002; 16: 901-8.
31. Zatorre RJ, Samson S. Role of the right temporal neocortex in retention of pitch in auditory short-term memory. *Brain* 1991; 114: 2403-17.
32. Griffiths TD, Johnsrude I, Dean JL, Green GG. A common neural substrate for the analysis of pitch and duration pattern in segmented sound? *Neuroreport* 1999; 10: 3825-30.
33. Peretz I. Can we lose memory for music? A case of music agnosia in a nonmusician. *J Cogn Neurosci* 1996; 8: 481-96.
34. Davidson RJ, Irwin, W. The functional neuroanatomy of emotion and affective style. *Trends Cognit Sci* 1999; 3: 11-21.
35. Trainor LJ, Schmidt LA. Processing emotions induced by music. In Peretz I, Zatorre, RJ, eds. *The cognitive neuroscience of music*. New York: Oxford University Press; 2003. p. 310-24.
36. Peretz I, Gagnon L, Bouchard B. Music and emotion: perceptual determinants, immediacy, and isolation after brain damage. *Cognition* 1998; 68: 111-41.
37. Gosselin N, Peretz I, Johnsen E, Adolphs R. Amygdala damage impairs emotion recognition from music. *Neuropsychologia* 2007; 45: 236-44.
38. Blood AJ, Zatorre RJ, Bermudez P, Evans AC. Emotional responses to pleasant and unpleasant music correlate with activity in paralimbic brain regions. *Nat Neurosci* 1999; 2: 382-7.
39. Blood AJ, Zatorre RJ. Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2001; 98: 11818-23.
40. Mizuno T, Sugishita M. Neural correlates underlying perception of tonality-related emotional components. *Neuroreport* 2007; 18: 1651-5.
41. Critchley M. Musicogenic epilepsy. *Brain* 1937; 60: 13-27.
42. Gelisse P, Thomas P, Padovani R, Hassan-Sebbag N, Pasquier J, Genton P. Ictal SPECT in a case of pure musicogenic epilepsy. *Epileptic Disord* 2003; 5: 133-7.
43. Sacks O. *Musicalophilia. Relatos de la música y el cerebro*. Barcelona: Anagrama; 2009.
44. Stewart L, Von Kriegstein K, Warren JD, Griffiths TD. Music and the brain: disorders of musical listening. *Brain* 2006; 129: 2533-53.
45. Griffiths TD. Musical hallucinosis in acquired deafness. Phenomenology and brain substrate. *Brain* 2000; 123: 2065-76.
46. Ruiz-Almazán I, Cáceres C, Plano J, Cobo-Gómez JV. Perfil neuropsicológico en las alucinaciones musicales del anciano. *Rev Neurol* 2009; 48: 500-1.
47. Altenmüller E. Focal dystonia: advances in brain image and understanding of fine motor control in musicians. *Hand Clin* 2003; 19: 523-8.
48. Hallet M. The neurophysiology of dystonia. *Arch Neurol* 1998; 55: 601-3.
49. Schmidt A, Jabusch H-C, Altenmüller E, Hagenah J, Brüggemann N, Lohmann K, et al. Etiology of musician's dystonia. Familiar or environmental? *Neurology* 2009; 72: 1248-54.
50. Rosset-Llobet J, Fàbregas i Molas S, Rosinés i Cubells D, Narberhaus-Donner B, Montero i Homs J. Análisis clínico de la distonía focal en los músicos. Revisión de 86 casos. *Neurología* 2005; 20: 108-15.
51. Zeuner KE, Bara-Jiménez W, Noguchi PS, Goldstein SR, Dambrosia JM, Hallet M. Sensory training for patients with focal hand dystonia. *Ann Neurol* 2002; 51: 593-8.
52. Candia V, Schäfer T, Taub E, Rau H, Altenmüller E, Rockstroh B, et al. Sensory motor retuning: a behavioural treatment for focal hand dystonia of pianists and guitarists. *Arch Phys Med Rehabil* 2002; 83: 1342-8.
53. Candia V, Wienbruch C, Elbert T, Rockstroh B, Ray W. Effective behavioural treatment of focal hand dystonia in musicians alters somatosensory cortical organization. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2003; 100: 7942-6.
54. Candia V, Rosset-Llobet J, Elbert T, Pascual-Leone A. Changing the brain through therapy for musicians' and dystonia. *Ann N Y Acad Sci* 2005; 1060: 335-42.
55. Jankovic J, Ashoori A. Movement disorders in musicians. *Mov Disord* 2008; 23: 1957-65.
56. Alossa N, Costelli L. Amusia and musical functioning. *Eur Neurol* 2009; 61: 269-77.
57. Peretz I, Hyde K. What is specific to music processing? Insights from congenital amusia. *Trends Cogn Sci* 2003; 7: 362-7.
58. Ayotte J, Peretz I, Hyde K. Congenital amusia: a group study of adults afflicted with a music-specific disorder. *Brain* 2002; 125: 238-51.
59. Hyde KI, Peretz I. Brains that are out of tune but in time. *Psychol Sci* 2004; 15: 356-60.
60. Foxton JM, Nandy RK, Griffiths TD. Rhythm deficits in 'tone deafness'. *Brain Cogn* 2006; 62: 24-9.
61. Dalla Bella S, Guiguère JF, Peretz I. Singing in congenital amusia. *J Acoust Soc Am* 2009; 126: 417-24.
62. Gosselin N, Jolicoeur P, Peretz I. Impaired memory for pitch in congenital amusia. The neurosciences and music III – disorders and plasticity. *Ann N Y Acad Sci* 2009; 1169: 270-2.

63. Peretz I, Brattico E, Järvenpää, Tervaniemi M. The amusic brain: in tune, out of key, and unaware. *Brain* 2009; 132: 1277-86.
64. Peretz I. Musical disorders. From behavior to genes. *Curr Dir Psychol Sci* 2008; 17: 329-333.
65. Peretz I, Cummings S, Dubé MP. The genetics of congenital amusia (tone-deafness): a family-aggregation study. *Am J Hum Genet* 2007; 81: 582-8.
66. Drayna D, Manichaikul A, De Lange M, Snieder H, Spector T. Genetic correlates of musical pitch recognition in humans. *Science* 2001; 291: 1969-72.
67. Hyde KL, Zatorre RJ, Griffiths TD, Lerch JP, Peretz I. Morphometry of the amusic brain: a two-site study. *Brain* 2006; 129: 2562-70.
68. Hyde KL, Lerch JP, Zatorre RJ, Griffiths TD, Evans AC, Peretz I. Cortical thickness in congenital amusia: when less is better than more. *J Neurosci* 2007; 27: 13028-32.
69. Mandell J, Schulze K, Schlaug G. Congenital amusia: an auditory-motor feedback disorder? *Restor Neurol Neurosci* 2007; 25: 323-34.
70. Weill-Chounlamountry A, Soyez-Gayout L, Tessier C, Pradat-Diehl P. Vers une rééducation cognitive de l'amusie. *Ann Readapt Med Phys* 2008; 5: 332-41.

Music and brain: neuroscientific foundations and musical disorders

Summary. Music is present in every culture and, from the earliest ages, we all have the basic capacities needed to process it, although this processing takes place in different modules that involve different regions of the brain. Do these regions form paths that are specific to musical processing? As we shall see, the production and perception of music engage a large part of our cognitive capabilities, involving areas of the auditory cortex and the motor cortex. On the other hand, music produces emotional responses within us that involve other cortical and subcortical areas. Are they the same paths as the ones engaged in the processing of emotions in general? We review the existing literature on these questions, as well as the different musical neurological disorders that exist, which range from musicogenic epilepsy to amusia, together with the different possible means of treatment.

Key words. Amusia. Auditory-motor interaction. Emotion. Musical dystonia. Musical hallucination. Musical memory.