

# Cómo la formación musical afecta el desarrollo cognitivo: ritmo, recompensa y otras variables moduladoras.

*Frontiers in Neuroscience*. 20/1/2014.

Ewa A. Miendlarzewska and Wiebke J. Trost

La formación musical ha suscitado recientemente un interés adicional en la educación, tal y como la creciente investigación neurocientífica demuestra apuntando sus efectos positivos en el desarrollo del cerebro. Los estudios de neuroimagen han revelado cambios en la plasticidad cerebral de los músicos adultos, pero aún no está claro hasta qué punto son el producto de la formación musical intensiva en lugar de otros factores, como los marcadores biológicos preexistentes de la musicalidad. En este artículo sintetizamos una gran cantidad de estudios que demuestran que los beneficios de la formación musical van más allá de las habilidades que exige el entrenamiento, y se mantienen hasta la edad adulta. Por ejemplo, los niños que se someten a formación musical tienen una mejor memoria verbal, precisión en la pronunciación de un segundo idioma, capacidad de lectura y funciones ejecutivas. Aprender a tocar un instrumento de niño puede incluso predecir el rendimiento académico y el coeficiente intelectual en los albores de la edad adulta. El grado de adaptación estructural y funcional observado en el cerebro se correlaciona con la intensidad y la duración de la práctica. Es importante destacar que los efectos sobre el desarrollo cognitivo dependen del momento de iniciación musical, debido a los períodos sensibles durante el desarrollo, así como de otras variables moduladoras. En particular, señalamos la motivación, la recompensa y el contexto social de la educación musical como factores importantes aunque descuidados que afectan los beneficios a largo plazo de la formación musical.

Además, introducimos la noción de sincronía rítmica y sugerimos que puede representar un mecanismo que apoya el aprendizaje y el desarrollo de las funciones ejecutivas. También afina el procesamiento temporal y la orientación de la atención en el tiempo, las cuales pueden ser la verdadera razón de las mejoras observadas en la lectura y la memoria verbal. Llegamos a la conclusión de que la formación musical engendra de manera singular efectos de transferencia cercanos y lejanos, preparando una base para una serie de habilidades y, por lo tanto, fomentando el desarrollo cognitivo.

## Introducción

La investigación psicológica y neurocientífica demuestra que la formación musical en los niños está asociada con el aumento de la sensibilidad al sonido, así como el aumento de las habilidades verbales y las habilidades generales de razonamiento. Los estudios en el campo de la neurociencia auditiva cognitiva han comenzado a revelar la plasticidad funcional y estructural del cerebro subyacente a estos efectos. Sin embargo, aún no está claro hasta qué punto la intensidad y la duración de la educación instrumental u otros factores tales como antecedentes familiares, actividades extracurriculares, atención, motivación o métodos pedagógicos contribuyen a los beneficios para el desarrollo del cerebro. La formación musical se correlaciona con los cambios en la plasticidad en las áreas de integración auditiva, motora y sensoriomotora. Sin embargo, el estado actual de la literatura científica no lleva a la conclusión de que los cambios observados sean causados exclusivamente por la formación musical (Merrett et al., 2013).

En este artículo revisamos brevemente la literatura reciente sobre cómo la formación musical cambia la estructura y la función del cerebro en músicos adultos y durante su desarrollo. A continuación presentamos evidencias de efectos de transferencia cercanos y lejanos en diversas funciones cognitivas, que no tienen precedentes en comparación con otras actividades de práctica a largo plazo en la infancia. Por último, destacamos el papel importante, y pasado por alto, de otros factores que podrían contribuir a la mejora cognitiva observada, así como a las diferencias cerebrales estructurales y funcionales entre músicos y no músicos. Proponemos el mecanismo de sincronía rítmica y sincronía social como factores que contribuyen

de manera muy singular al papel promotor de la plasticidad en la formación musical. El mecanismo propuesto de sincronización rítmica, por el cual la formación musical proporciona una ventaja única de habilidades transferibles, puede convertirse en una autopista prometedoras en la investigación que explica los efectos beneficiosos en un cerebro en desarrollo. Además, señalamos el papel potencialmente importante de las predisposiciones genéticas y la motivación que rara vez se controla en la literatura existente.

Este artículo se centra en los estudios que investigan la respuesta de niños y adultos sanos a la educación musical formal (principalmente el entrenamiento instrumental), en términos de neuroplasticidad observada con técnicas de neuroimagen, así como en los efectos del comportamiento en el desempeño cognitivo en diversos dominios. Aunque mencionamos y reconocemos el enorme valor de la musicoterapia con el objetivo de restaurar la función perdida en individuos enfermos o discapacitados, este tema está fuera del enfoque principal de este artículo. Revisar los progresos en la investigación de la formación musical abarcados en este artículo, nos lleva a la prometedoras suposición de que los cambios inducidos en el desarrollo del cerebro y su plasticidad no sólo son relevantes en ámbitos específicos de dominio musical, sino también mejoran otras habilidades cognitivas.

## **Funciones cognitivas, emocionales y sociales en la percepción y producción musicales**

Para percibir la estructura temporal y armónica de la música, así como sus componentes afectivos, la escucha de la música requiere ciertas habilidades perceptivas, como la discriminación de tono, la memoria auditiva y la atención selectiva, comprometiendo una red distribuida de estructuras cerebrales (Peretz y Zatorre, 2005). La interpretación musical, a diferencia de la mayoría de otras actividades motrices, requiere además una precisa organización temporal de diversas acciones organizadas jerárquicamente, y el control sobre la producción interválica (Zatorre et al., 2007). La música, como todos los sonidos, se despliega en el tiempo. Por lo tanto, el sistema cognitivo auditivo debe depender del trabajo de mecanismos de memoria que permitan mantener vivo un estímulo, con el fin de poder relacionar un elemento de una secuencia anterior con otro que ocurre más tarde. El proceso de reconocimiento de la música requiere la selección y el acceso a predicciones potenciales dentro de un sistema de memoria perceptiva (Dalla Bella et al., 2003; Peretz y Zatorre, 2005). A diferencia del habla, la música no está asociada con un sistema semántico fijo, aunque puede transmitir significado a través de sistemas como la apreciación emocional (Koelsch, 2010; Trost et al., 2012) y memorias asociativas.

Además, es sabido que la música también ejerce un poderoso impacto emocional. Los estudios de neuroimagen han demostrado que las emociones inducidas musicalmente afectan a regiones cerebrales muy similares a las que están también implicadas en emociones básicas no musicales, tales como el sistema de recompensas, la ínsula y la corteza orbitofrontal, la amígdala y el hipocampo (Koelsch et al., 2006, Salimpoor et al., 2011, Trost et al., 2012). Sin embargo, la música puede tener una fuerte influencia emocional tanto en el oyente como en el intérprete: la experiencia musical puede ser experimentada como altamente emocional, no sólo como en el caso del miedo escénico (Studer et al., 2011), sino también como una experiencia altamente gratificante (De Manzano et al., 2010, Nakahara et al., 2011). Además, en un contexto social, se ha demostrado que la música en grupo fomenta la comunicación, la coordinación, la cooperación e incluso la empatía entre los miembros del mismo (Koelsch, 2010). Por ello, es fácilmente demostrable que la formación musical tiene un impacto positivo en el bienestar y el desarrollo social de niños y adultos.

La formación musical es una experiencia motora multisensorial, típicamente iniciada a una edad temprana. Tocar un instrumento requiere de una serie de habilidades, incluyendo la lectura de un complejo sistema simbólico (notación musical) y su traducción a una actividad motora secuencial y bimanual dependiente de la retroalimentación multisensorial; desarrollar finas habilidades motrices con precisión métrica; memorizar largos pasajes musicales; y la improvisación dentro de determinados parámetros musicales. La interpretación musical, a diferencia de la mayoría de otras actividades motrices, requiere una precisa organización temporal de diversas acciones organizadas jerárquicamente, y el control sobre la producción

interválica (Zatorre et al., 2007). La lectura a vista musical, o repentización, exige el procesamiento simultáneo y secuencial de una gran cantidad de información en un tiempo muy breve para su uso inmediato. Esta tarea requiere, como mínimo, la interpretación de la altura y la duración de las notas (escritas a dos pentagramas en una partitura de piano) en el contexto de una tonalidad y un compás específicos, la detección de patrones familiares, la anticipación de cómo debe sonar la música, y la generación de un plan de ejecución adecuado para la traducción motora. La instrucción musical formal, por lo tanto, entrena un conjunto de funciones atencionales y ejecutivas, que tienen consecuencias tanto específicas como generales.

La instrucción musical formal, por lo tanto, adiestra un conjunto de funciones de atención y ejecución, que tienen consecuencias tanto específicas como generales.

## **El cerebro del músico: plasticidad y cambios funcionales debidos a la formación musical**

Dada la participación de múltiples funciones cognitivas en las actividades musicales, parece natural que en los músicos con alta formación, las redes cerebrales subyacentes a estas funciones mostraran una mayor plasticidad. Varios artículos recientes han realizado una evaluación analítica acerca de los efectos de la formación musical sobre la plasticidad cerebral, basados en la literatura de la neuroimagen acumulada hasta la fecha (Herholz y Zatorre, 2012; Moreno y Bidelman, 2013).

Entre otros aspectos, se ha resuelto que, aparte de las diferencias anatómicas en las cortezas auditivas y motoras, existen también diferencias estructurales en el cerebro de los músicos en comparación con los no músicos (generalmente en forma de aumento del volumen de la materia gris), en las áreas somatosensoriales, corteza premotora, regiones temporal y frontal inferiores, así como el cerebelo, (véase Barrett et al., 2013). Varios estudios longitudinales han encontrado una correlación entre la duración de la formación musical y el grado de cambios estructurales en los tractos de la sustancia blanca (Bengtsson et al., 2005), incluyendo el cuerpo calloso (Schlaug et al., 2005).

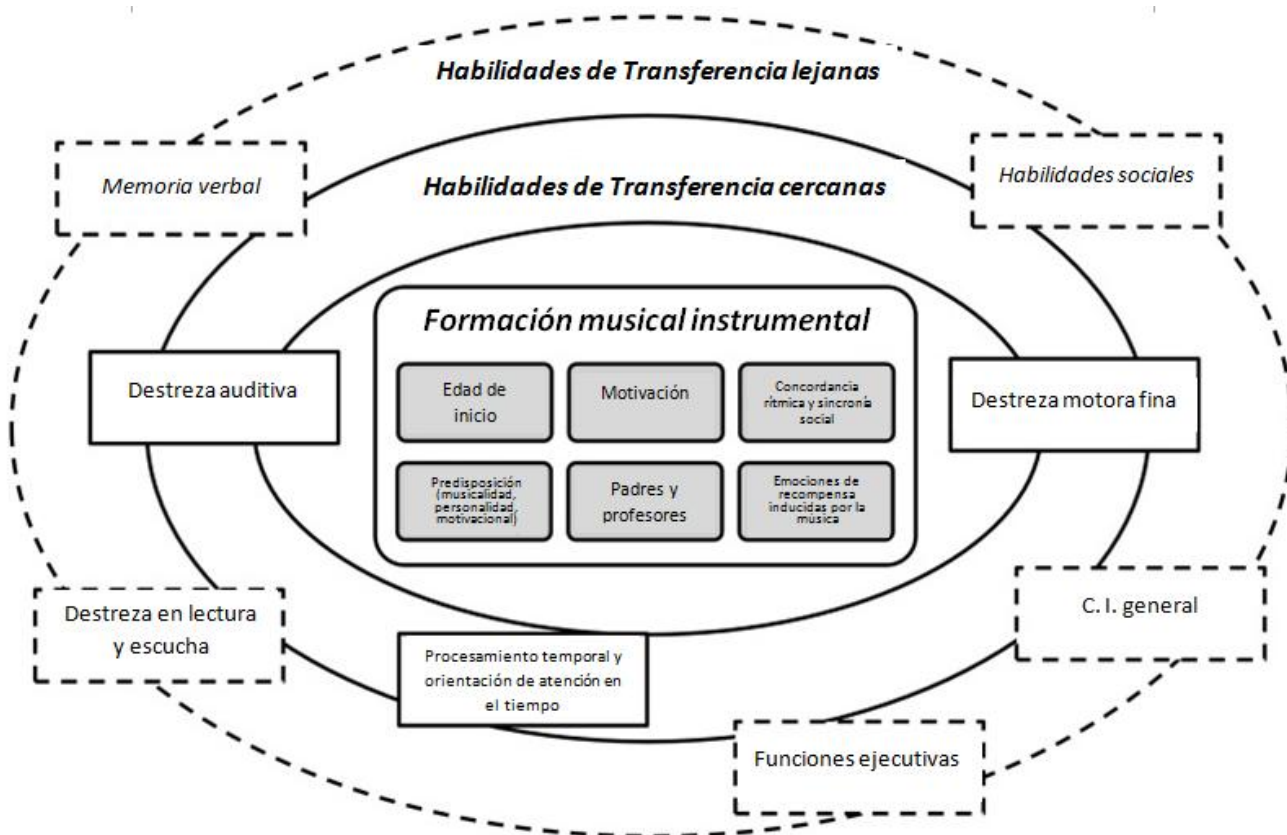
Si bien no es sorprendente que las diferencias estructurales y funcionales se encuentren en las regiones cerebrales que están estrechamente vinculadas a las habilidades aprendidas durante la formación musical e instrumental (como los movimientos motores finos independientes en ambas manos y la discriminación auditiva), las diferencias fuera de estas regiones primarias son particularmente interesantes (por ejemplo, en el giro frontal inferior en Sluming et al., 2002). Tales hallazgos indican que la plasticidad puede ocurrir, bien en regiones cerebrales que tienen control sobre las funciones musicales primarias, o bien sirven como regiones de integración multimodal para habilidades musicales, posiblemente mediando la transferencia de la formación musical a otras habilidades.

Por ejemplo, un estudio reciente que investiga la actividad en estado de reposo medido con fMRI (Resonancia magnética funcional) en músicos en comparación con no músicos, halló que los músicos poseen un aumento de la conectividad funcional en áreas motoras y multisensoriales (Luo et al., 2012). Este resultado demuestra que la formación musical a largo plazo influye en la conectividad funcional del cerebro incluso en diseños de investigación sin tareas particulares, señalando que las redes motoras y multisensoriales de los músicos son más aptas para un funcionamiento conjunto.

En la siguiente sección, revisamos los efectos de la formación musical sobre las funciones cognitivas y la plasticidad cerebral, y discutimos el papel de la edad al inicio. Sin embargo, observamos que la evidencia de la plasticidad cerebral inducida por la formación musical puede aparecer en gran correlación debido al número de variables adicionales que no han sido controladas en la mayoría de los estudios (transversales) (Merrett et al., 2013), y que hay preguntas sin respuesta en torno a la atribución de la influencia causal a la formación musical por sí sola. Los pocos estudios aleatorios de grupos que se han llevado a cabo hasta la fecha suelen incluir un grupo control formado por participantes que asisten a clases de teatro, danza (Young et al., 2013) o artes visuales (Moreno et al. Bidelman, 2013).

Y mientras que las consideraciones metodológicas y sujeto-específicas de este asunto se han discutido en otras ocasiones (Barrett y otros, 2013, Merrett y otros, 2013), en la sección *Variables que modulan la plasticidad del cerebro a través de la formación musical*, proponemos posibles mecanismos no reconocidos que permiten a los músicos sobresalir en muchas otras áreas no relacionadas con las habilidades musicales (habilidades de transferencia cercana y lejana descritas en la sección *Efectos sobre las funciones cognitivas*). A saber, identificamos la mayor eficiencia en los procesos de atención y de memoria engendrados por la concordancia rítmica, así como una extensión de este fenómeno a la sincronía social que tiene lugar cuando la gente canta, toca música o baila a la vez en sincronía. En resumen, en la Figura 1 proponemos un esquema que muestra las habilidades de transferencia que son mejoradas gracias a la formación musical instrumental, incluyendo los factores moduladores discutidos en las secciones *Efectos de la formación musical en la infancia* y *Variables que modulan la plasticidad cerebral a través de la Formación Musical*.

FIGURA 1



**Figura 1.** Representación esquemática de las habilidades de transferencias cercanas y lejanas que se benefician de la formación musical instrumental. En el rectángulo interno se enumeran las variables que modulan la influencia de la formación musical en el desarrollo cognitivo (ver texto principal, en particular la sección *Variables que modulan la plasticidad cerebral a través de la formación musical*). Las habilidades de transferencia cercanas están marcadas en rectángulos sólidos y las habilidades de transferencia lejana están marcadas en rectángulos discontinuos (descrito en detalle en la sección *Efectos sobre las funciones cognitivas*). Los términos en cursiva indican que los resultados no son concluyentes en el estado actual de la literatura.

## Efectos de la formación musical en la infancia

Los estudios de correlación e intervención en los niños que reciben formación musical muestran de manera consistente un mejor funcionamiento en las áreas estrechamente asociadas a la música: habilidad motora fina, percepción rítmica y discriminación auditiva. También existe una importante evidencia de efectos de transferencia cercana de estas habilidades a la discriminación de fonemas, así como efectos de

transferencia lejana al vocabulario, y a los subgrupos de razonamiento no verbal, en las pruebas de inteligencia general.

Mientras que los efectos de transferencia cercana (a tareas dentro del mismo ámbito) se observan a menudo en varios programas de formación, tales como el adiestramiento computarizado de la función ejecutiva (atención, memoria funcional y tareas múltiples) (Jolles y Crone, 2012), La transferencia lejana es notoriamente difícil de inducir, y sólo se ha observado después de exigentes entrenamientos múltiples como en los videojuegos de acción (Bavelier et al., 2010; Green y Bavelier, 2012). Los informes que revisamos en esta sección muestran que la formación musical también trae efectos de transferencia prometedores en dominios como la inteligencia verbal y las funciones ejecutivas, e incluso puede conducir a un mejor rendimiento académico general.

El desarrollo neuronal es complejo y diversos procesos neuronales afectan a la plasticidad. Tales procesos incluyen proliferación sináptica, cortes, mielinización a niveles de neurofilamentos y neurotransmisores, cada uno de los cuales tiene su propia trayectoria de desarrollo (por ejemplo, Lenroot y Giedd, 2006; Perani et al., 2010). Observando la plasticidad cerebral a medida que avanza la formación musical, se va dilucidando la manera en que se graba esta práctica en el cerebro y cómo la memoria encuentra su reflejo en la estructura cerebral.

En general, los estudios sobre el aprendizaje de la música son coincidentes con la literatura animal que indica mayores cambios plásticos en el cerebro por factores de conducta relevantes (por ejemplo, asociados con la recompensa o excitación emocional), más que por la exposición pasiva a estímulos auditivos (Weinberger, 2004). Sin embargo, la imagen no está completa hasta que tengamos en cuenta las dinámicas de maduración que moldean el cerebro simultáneamente a la formación musical. La siguiente sección introduce el concepto de períodos críticos y sensibles en el desarrollo del cerebro que, aunque no de manera exhaustiva, se añade a la comprensión de la neuroplasticidad inducida por la formación musical. La noción de "ventanas de oportunidad" es importante porque pone límites a la plasticidad cerebral relacionada con el adiestramiento y, por lo tanto, permite explicar por qué ciertas habilidades sólo pueden desarrollarse en la primera infancia, lo cual es crucial para el diseño de programas educativos y la crianza de los hijos.

## **Períodos críticos y sensibles**

Se sabe que la plasticidad se ve afectada por el grado de actividad musical formativa que recibe una persona a una edad temprana (Knudsen, 2004). "*Período sensible*" es un término que se aplica a un período limitado en el desarrollo, cuando los efectos de la experiencia en el cerebro son inusualmente fuertes, derivados de la propiedad de especial maleabilidad de los circuitos neuronales (Knudsen, 2004). Durante este tiempo, se despliega la arquitectura básica de los circuitos neuronales, y todo el aprendizaje (y plasticidad) que se produzca después del período sensible causará alteraciones solamente dentro de los patrones de conectividad restringidos del propio marco (Knudsen, 2004). La regulación de la aparición y duración del período sensible no es simplemente una razón de edad, sino de experiencia, y por lo tanto la presencia de ambientes enriquecedores puede prolongar los períodos sensibles (Hensch, 2004). Por ejemplo, el dominio de una segunda lengua es mejor en individuos que han estado expuestos a ella entre los 11 y los 13 años, marcando la pubertad como el final del período sensible para el aprendizaje de idiomas (Weber-Fox y Neville, 2001). En otras palabras, el período sensible es, en cierta medida, dependiente del uso (Hensch, 2004). En contraste, los *períodos críticos* son ventanas de tiempo estrictas durante las cuales la experiencia proporciona información que es esencial para un normal desarrollo, alterando permanentemente el rendimiento. Por ejemplo, el período crítico para la plasticidad de la corteza auditiva termina en la edad de 3-4 años en los seres humanos, como se demuestra en estudios de implantación coclear en niños sordos congénitos: la privación sensorial en ese período de tiempo afecta la discriminación sensorial normal y el aprendizaje de lengua oral (Sharma, 2012).

No todas las regiones del cerebro se desarrollan en el mismo transcurso de tiempo, habiendo procesos de temporalización y duración particulares en períodos críticos en los diferentes sistemas neuronales. Las regiones sensoriales y motoras entran en el período sensible antes que las áreas temporal-parietal y frontal

(Sowell et al., 2004), la corteza visual alcanza los niveles adultos de mielinización a los pocos meses de vida (Kinney et al., 1988) mientras que la mielinización de la corteza auditiva no termina hasta los 4-5 años de edad (Moore y Linthicum, 2007), y la conectividad de la materia blanca continúa desarrollándose hasta las últimas etapas de la infancia (Moore y Guan, 2001). Kral y Eggermont (2007) propusieron que este período prolongado de plasticidad de desarrollo en la corteza auditiva sirve para la adquisición del lenguaje, en el que el procesamiento sensorial ascendente es entrenado por la retroalimentación de los procesos cognitivos descendentes. Durante este tiempo, entre las edades de 1 a 5 años, la plasticidad dependiente de la experiencia de la consistencia de la respuesta auditiva del tronco cerebral se maximiza (Skoe y Kraus, 2013).

La maduración de los tractos fibrosos en el lado frontal izquierdo, temporo-occipital y cuerpo calloso anterior que conecta los lóbulos frontales, coincide con el desarrollo de la capacidad de la memoria funcional, mientras que la capacidad de lectura está relacionada con los valores de anisotropía fraccional en el lóbulo temporal izquierdo, De 8 y 18 (Nagy et al., 2004). De manera similar, la maduración de las fibras corticoespinales es paralela al desarrollo de los movimientos finos de los dedos (Paus et al., 1999). El área transversal del cuerpo calloso crece al menos hasta la edad adulta temprana (Keshavan et al., 2002), mientras que las fibras de proyección de la extremidad posterior de la cápsula interna (que llevan las fibras sensoriales a sus áreas de procesamiento en las cortezas respectivas) solamente alcanza el punto asintótico de maduración entre las edades de 21 y 24 años (Bava et al., 2010).

Esta sub sección ha enfatizado que cualquier adiestramiento intenso, incluyendo el entrenamiento instrumental musical en la infancia, puede tener un impacto diferente en la plasticidad cerebral y en el desarrollo cognitivo dependiendo de la edad de inicio. Sin embargo, muchos estudiosos de los períodos sensibles en el desarrollo del cerebro señalan que el papel de la motivación y la atención es profundo en todo aprendizaje y no debe subestimarse, especialmente durante los períodos sensibles (Hensch, 2004). Y como muestra el ejemplo del aprendizaje de lenguas en niños (Kuhl et al., 2003, Kuhl, 2007), el entorno social y los maestros pueden ser igualmente importantes.

## **Efectos sobre la plasticidad cerebral**

Los cambios plásticos en las estructuras corticales y subcorticales del sistema auditivo (Gregersen et al., 2000, Wong y otros, 2007, Penhune, 2011), así como en la corteza sensoriomotora (representación más amplia de los dedos) y su expresión funcional dependen de una temprana edad de inicio (Herholz y Zatorre, 2012), lo cual enfatiza el papel de los períodos sensibles en la formación de la plasticidad inducida por el adiestramiento (Merrett et al., 2013). El entrenamiento instrumental puede acelerar el desarrollo gradual del neurofilamento en las capas corticales superiores que toma lugar entre las edades de 6 y 12 años, cimentando una rápida y sincronizada activación neuronal (Moore y Guan, 2001, Hannon y Trainor, 2007).

Dos estudios longitudinales rastrearon la influencia de la formación musical en la actividad conductual y cerebral en niños entre los 5 y los 9 años. Schlaug et al. (2005) reclutó a 50 niños que estaban a punto de comenzar su educación musical y los comparó con un grupo de control de otros 25, con edad, nivel socioeconómico y C.I. verbal equivalentes. De inicio, no existían diferencias cerebrales cognitivas, musicales, motoras o estructurales preexistentes entre los grupos instrumental y de control según lo probado mediante escáneres de RM funcionales (Norton et al., 2005). Las pruebas realizadas después de 14 meses de formación musical revelaron cambios significativos de mayor puntuación en el grupo instrumental, en comparación con el grupo de control, en habilidades motoras finas y discriminación auditiva. Sin embargo, no se encontraron cambios significativos en el volumen de la sustancia blanca o gris, ni en los efectos de transferencia en dominios tales como el verbal, visual-espacial y matemático, pero el grupo instrumental mostró una tendencia en la dirección observada.

Un estudio de Hyde et al. (2009) comparó dos grupos de niños de 6 años de edad, uno de los cuales tomó clases particulares de piano durante 15 meses, y el otro pasó una cantidad similar de tiempo a la semana en una clase de música en grupo, que incluía cantar y tocar con instrumentos de percusión y campanas. La aplicación de la morfometría basada en la deformación para evaluar las diferencias entre los grupos en todo el cerebro antes y después de la formación musical, reveló que los niños con clases de piano

mostraron áreas de mayor volumen relativo de vóxeles (píxeles en 3D) en las áreas cerebrales motoras, como el giro precentral derecho, y en el cuerpo medio del cuerpo calloso, así como en la región auditiva primaria derecha, en consonancia con los cambios plásticos observados en los músicos profesionales. Además, se observaron diferencias cerebrales estructurales en varias áreas frontales que, sin embargo, no se correlacionaron con una mejora en el rendimiento académico.

Esta evidencia demuestra que la formación musical mantenida durante el período sensible puede inducir cambios estructurales en el cerebro, siendo improbable que sean solo debidos a diferencias morfológicas preexistentes. Sin embargo, 14 meses pueden no ser suficientes para grabar un crecimiento estadísticamente significativo en el volumen de la sustancia blanca y gris ( Schlaug et al., 2005), y las diferencias observadas pueden confundirse potencialmente con un nivel más alto de educación de los padres (Hyde et al. 2009).

## **Efectos sobre las funciones cognitivas**

Otra cuestión interesante que exploramos en esta sección es la generalización del aprendizaje inducido por la formación musical a otros dominios funcionales. Según la concepción de la "oportunidad temporal" de estimulación del entorno durante el desarrollo cerebral, las experiencias en la infancia y la adolescencia son vitales para muchas habilidades en la vida adulta, lo que hace que la decisión de qué tipo de educación ofrecer a un niño sea un asunto serio. ¿Es la formación musical una buena opción? Aunque muchos estudios longitudinales de desarrollo de la educación musical incluyen un grupo de control bien adaptado, como otros programas artísticos, hay muy poca investigación que contraste la formación instrumental en la infancia con la danza o el deporte, lo que podría ofrecer interesantes caminos en la investigación de la plasticidad y ayudar a los padres a tomar una decisión informada. Por lo tanto, aunque todos los programas artísticos y deportivos tienen efectos beneficiosos sobre el desarrollo cognitivo (Green y Bavelier, 2008), la formación musical instrumental es única en lo que refiere a la amplia gama de efectos observados a largo plazo, aunque puede haber otros factores mediadores de este efecto (Young et al. 2013).

## **Habilidades auditivas**

Al comparar a los niños con formación musical con los no entrenados, no es sorprendente que se encuentren diferencias en el rendimiento de las tareas auditivas y el procesamiento auditivo. Por ejemplo, se ha demostrado que los niños que se benefician de lecciones musicales son más sensibles a la tonalidad y a los armónicos de la música occidental que los niños no entrenados (Corrigall y Trainor, 2009). Más específicamente, en lo que respecta al procesamiento del tono, los niños de tan sólo 8 años con una formación musical de solo 6 meses de duración, demostraron una mayor precisión en la discriminación de pequeñas diferencias de tono, y su registro electroencefalográfica - aumento de la amplitud del N300 (tipo de onda cerebral. Es un hallazgo reciente en el contexto de congruencia semántica y la expectación) (Besson et al. 2007). No se observaron tales diferencias en el grupo de control formado durante el mismo tiempo en clases de pintura. Otro estudio longitudinal bien controlado reciente mostró que los niños entre 8 y 10 años que se beneficiaron de un programa de lecciones de música de 12 meses, fueron mejores en discriminar la duración silábica y el tiempo de inicio de la voz en comparación con los niños que siguieron clases de pintura durante el mismo período (Chobert et al. Al., 2012). Estos resultados sugieren así que la formación musical puede mejorar el ajuste temporal de la percepción auditiva. Además, los músicos son mejores en reconocer el habla en el ruido, una habilidad desarrollada a través de la práctica constante, y mejorada si la formación musical se inició a una edad temprana (Strait et al., 2012, Parbery-Clark et al., 2009, 2011; Strait et al. 2012).

En conjunto, estos resultados sugieren que la formación musical aumenta las habilidades de escucha, incluyendo la discriminación acústica, una habilidad también involucrada en la segmentación del habla (Francois et al., 2013), permitiendo un procesamiento más preciso del habla y de las voces. De acuerdo con nuestra propuesta del rol que juega la concordancia rítmica (ver sección *Ritmo y concordancia* a continuación), Besson et al. (2011) sugiere que estas diferencias en el procesamiento del lenguaje que

distingue a los músicos de los no músicos, pueden reflejar una habilidad aprendida para orientar con precisión la atención en el tiempo, con tal de poder discriminar los sonidos con mayor precisión.

## **Habilidades lingüísticas**

Los sonidos musicales y todos los demás sonidos comparten la mayoría de las etapas de procesamiento en el sistema auditivo, y aunque el habla es diferente de la producción musical en varias dimensiones (Hannon y Trainor, 2007), se ha demostrado que la formación musical se transfiere a las habilidades relacionadas con el lenguaje. Por ejemplo, las respuestas auditivas del tronco encefálico a las consonantes oclusivas en niños con una formación musical de tan sólo 3 años son más nítidas, indicando una mejor diferenciación neural de sonidos similares que caracteriza a los músicos adultos y más tarde se traduce en una mejor capacidad para distinguir los sonidos en el habla (Strait et al. 2013). Mientras que los enlaces cruzados entre el lenguaje y la formación musical se han revisado en otros lugares (por ejemplo, Chandrasekaran y Kraus, 2010, Besson y otros, 2011, Strait y Kraus, 2011, 2013), dos ejemplos muestran mecanismos neurofisiológicos subyacentes al procesamiento sintáctico, tanto en la música como en el lenguaje, que se desarrollan antes en niños con formación musical (Jentschke y Koelsch, 2009), así como la transferencia de la formación musical a la discriminación del tono en el habla, y la lectura en voz alta en niños de 8 años de edad (Moreno et al., 2009).

El hecho de que la música y el lenguaje compartan sustratos auditivos comunes puede indicar que ejercitar los mecanismos cerebrales responsables para con los sonidos de un ámbito, podría mejorar la capacidad de estos mecanismos para adquirir categorías sonoras en el otro ámbito (Patel and Iversen, 2007; Patel, 2008).. Patel argumenta en su hipótesis OPERA que los beneficios de los músicos en la codificación del habla se deben a cinco mecanismos (Patel, 2011, 2013). Sugiere que hay una superposición de redes cerebrales comunes entre el habla y la música que son singularmente adiestradas, ya que la producción musical exige una alta precisión. Además, las actividades musicales tienen un alto potencial de refuerzo emocional, que estimula estas redes cerebrales repetidamente requiriendo un cierto enfoque de atención. Patel afirma que estos procesos son responsables del buen desempeño de los músicos en el procesamiento del habla.

Este beneficio de la formación musical no sólo puede encontrarse en las tareas de percepción auditiva (por ejemplo, testado con las Medidas Intermedias de Audición Musical de Gordon, Schlaug et al., 2005), sino también en habilidades verbales como la fluidez y la memoria verbal, la habilidad de aprender una segunda lengua, y habilidad lectora, demostrando los efectos de transferencia lejana de la formación musical (para una revisión ver Besson et al., 2011). Por ejemplo, se ha demostrado que los niños con formación musical se desarrollaron mejor en el subtest de vocabulario de la *Escala de Inteligencia de Wechsler para Niños* (WISC-III) que un grupo de control emparejado (Schlaug et al., 2005; Forgeard et al., 2008). Por otra parte, la formación musical también se ha asociado con la mejora de la memoria verbal (Chan y otros, 1998, Ho y otros, 2003, Jakobson et al., 2003).

La investigación en adultos demostró claramente que la habilidad musical podía predecir habilidades lingüísticas en el aprendizaje del segundo idioma. Slevc y Miyake (2006) pusieron a prueba 50 estudiantes japoneses adultos de inglés y encontraron una relación entre habilidad musical y habilidades de segundo idioma en fonología receptiva y productiva, mostrando que la experiencia musical puede ser beneficiosa para aprender una segunda lengua. Y en niños pequeños, un estudio de Milovanov et al. (2008) demostró que la exactitud de la pronunciación del segundo idioma se correlaciona con las habilidades musicales.

La investigación empírica sobre niños y adultos sugiere que las habilidades musicales predicen habilidades fonológicas en el lenguaje, como también en la lectura. Por ejemplo, Butzlaff (2000) encontró una asociación significativa entre el entrenamiento de la música y las habilidades de lectura. En otro estudio Anvari et al. (2002) estudiaron la relación entre las habilidades de lectura temprana y el desarrollo musical en una gran muestra de estudiantes de habla inglesa de 4 y 5 años. Aprender a leer Inglés requiere la asignación de símbolos visuales en contrastes fonémicos, y por lo tanto, aprovecha las habilidades lingüísticas de clasificación sonora. En este estudio, fueron testados tanto el tono musical como la discriminación rítmica. Para el grupo de niños de 5 años, el rendimiento en tonos musicales, pero no en las



tareas rítmicas, predijo habilidades de lectura. Este hallazgo es coherente con la idea de la existencia de procesos de aprendizaje compartidos para las categorías de sonido lingüístico y musical. Sin embargo, a pesar de este hallazgo negativo en los participantes de 5 años de edad, parece haber un vínculo entre las habilidades de producción rítmica y la lectura, como se explica en la sección *Ritmo y concordancia* a continuación. Por ejemplo, un estudio reciente de Tierney y Kraus demostró que en adolescentes la capacidad de marcar el pulso está relacionada con mejores habilidades de lectura, así como con el desempeño de tareas exigentes de atención temporal, como el enmascaramiento hacia atrás (Tierney y Kraus, 2013). Esta diferencia en el procesamiento del ritmo podría deberse a la forma en que Anvari y sus colegas estudiaron la percepción y la producción rítmica, requiriendo éstas capacidades de memoria a corto plazo, mientras que la tarea de marcar el pulso requiere sincronización sensoriomotora y, una aumentada orientación temporal de la atención - una habilidad requerida también en la lectura.

## **Habilidades espaciales y matemáticas**

Un meta-análisis de 15 estudios experimentales de Hetland (2000) demostró que la instrucción musical mejora el desempeño en ciertas tareas espaciales (como el subtest de la Asamblea de Objetos del WISC) pero no en las Matrices Progresivas Estándar de Raven, que es una prueba de razonamiento no verbal con algunos elementos visuales-espaciales. Los resultados de los estudios correlacionales que validan la asociación entre la formación musical y los resultados espaciales no muestran una asociación clara, con cinco de los 13 estudios que informaron una correlación positiva entre el entrenamiento musical y los resultados espaciales, y ocho con resultados negativos, nulos o mixtos. Forgeard et al. (2008), sin embargo, no encontró diferencias en las habilidades espaciales entre los niños que recibieron al menos 3 años de formación musical y los grupos de control. Otro estudio (Costa-Giomi, 1999) encontró que los niños que recibieron lecciones de piano mejoraron más que los grupos de control en habilidades visuales-espaciales, pero sólo durante los primeros 2 años de instrucción, sin diferencias entre los grupos al final del tercer año. Un estudio realizado con adultos mostró que los músicos no desempeñaron mejor que los no músicos en una tarea de memoria espacial (Hansen et al., 2012). Parece, por lo tanto, que el entrenamiento musical instrumental puede ayudar a la adquisición de habilidades espaciales en los niños, en lugar de lograr una ventaja permanente en los músicos. Finalmente, Schlaug et al. (2005) no encontraron efectos de transferencia del entrenamiento musical en habilidades matemáticas o inteligencia general en niños de 9-11 años con un promedio de 4 años de formación musical, aunque los niños obtuvieron puntuaciones más altas en la subprueba de vocabulario de la Escala de Inteligencia de Wechsler para Niños (WISC-III), lo que sugiere que la transferencia a las habilidades lingüísticas puede ser la más robusta, observable ya después de un periodo relativamente corto de práctica.

Un meta-análisis de los estudios que investigan la influencia del entrenamiento musical en el rendimiento matemático no mostró evidencia convincente en favor de un efecto de transferencia (Vaughn, 2000). También en estudios más recientes no se ha reportado una relación positiva entre el entrenamiento musical y el desempeño en las pruebas de habilidades matemáticas (Forgeard et al., 2008), ni una mayor musicalidad entre los matemáticos (Haimson et al., 2011).

## **Funciones ejecutivas**

La noción de función ejecutiva se refiere a los procesos cognitivos orquestados por la corteza prefrontal que nos permiten permanecer enfocados en los medios y en las metas, y voluntariamente (con control consciente) alterar nuestros comportamientos en respuesta a los cambios en el entorno (Banich, 2009). Incluyen control cognitivo (atención e inhibición), memoria de trabajo y flexibilidad cognitiva (cambio de tareas).

Hannon y Trainor (2007) propusieron que la formación musical requiere procesos de ámbitos específicos que afectan la relevancia del aporte musical y la cantidad de tejido cortical dedicado a su procesamiento, así como procesos de atención y funcionamiento ejecutivo. De hecho, las demandas de atención y memoria, así como la coordinación y la capacidad de cambiar entre las diferentes tareas que están involucradas en el aprendizaje de tocar un instrumento, son muy numerosas. Este aprendizaje depende de la integración de

los procesos de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba, y bien puede ser que sea el entreno de esta integración la que subyace a los mejores procesos de atención y memoria observados en los musicalmente adiestrados (Trainor et al. 2009). Las funciones ejecutivas parecen pues muy solicitadas al aprender a tocar un instrumento (Bialystok y Depape, 2009). De hecho, Moreno et al. (2011) encontraron que incluso después de un entrenamiento musical a corto plazo (20 días) con un programa computerizado, los niños mejoraron sus funciones ejecutivas, testadas en una tarea de ir / no ir. Del mismo modo, en términos de capacidad de memoria funcional, un estudio longitudinal reciente mostró que los niños que habían sido incluidos en un programa de música instrumental de 18 meses de duración superaron a los niños del grupo de control que siguieron un programa de ciencias naturales durante el mismo período (Roden et al., 2013).

## **CI (coeficiente de inteligencia) general y logro académico**

Se ha llevado a cabo una extensa cantidad de investigación sobre cómo la música puede aumentar la inteligencia y hacer al oyente más inteligente (Rauscher et al., 1993; Degé et al., 2011; Moreno et al., 2011). El resultado de esta investigación demuestra que no la escucha de música, sino el compromiso activo con la música en forma de lecciones de música confiere en algunos casos un impacto positivo en la inteligencia y las funciones cognitivas, aunque estos resultados no siempre se repiten. Una discusión importante en esta área es si la formación musical aumenta las habilidades específicas o bien conduce a un aumento global inespecífico de las capacidades cognitivas, medido por una puntuación del CI general.

Para los niños, las lecciones de música actúan como una educación adicional, que requiere atención enfocada, memorización y el dominio progresivo de una habilidad técnica. Por lo tanto, es probable que las habilidades de transferencia de la función ejecutiva, el autocontrol y la atención sostenida enfocada se traduzcan en mejores resultados en otros temas y, finalmente, en mayores puntuaciones de IQ general. General IQ se prueba típicamente con las matrices progresivas de Raven (Raven, 1976), aunque los varios tipos de inteligencia también se pueden probar en pruebas específicas. Estas pruebas requieren diferentes tipos de desempeño cognitivo, como proporcionar definiciones de palabras o visualizar objetos tridimensionales a partir de diagramas bidimensionales, y se consideran un buen indicador de habilidades mentales aritméticas y razonamiento no verbal. Por ejemplo, Forgeard et al. (2008) encontraron que la práctica de un instrumento musical aumenta el rendimiento en la prueba de Matrices de Raven, lo que podría sugerir que las habilidades de razonamiento no verbal están mejor desarrolladas en niños con formación musical.

Para los niños, las lecciones de música actúan como una educación adicional, requiriendo atención enfocada, memorización y un dominio progresivo de habilidades técnicas. Por lo tanto, es probable que las habilidades de transferencia de la función ejecutiva, el autocontrol y la atención sostenida enfocada se traduzcan en mejores resultados en otros temas y, finalmente, en mayores puntuaciones del CI general. El CI general se prueba habitualmente con las matrices progresivas de Raven (Raven, 1976), aunque los distintos tipos de inteligencia también se pueden probar en otras pruebas específicas. Estas pruebas requieren diferentes tipos de desarrollo cognitivo, como proporcionar definiciones de palabras o visualizar objetos tridimensionales a partir de diagramas bidimensionales, considerándose buenos indicadores de habilidades mentales aritméticas y de razonamiento no verbal. Por ejemplo, Forgeard et al. (2008) encontraron que la práctica de un instrumento musical aumenta el rendimiento en la prueba de Matrices de Raven, lo que podría sugerir que las habilidades de razonamiento no verbal están mejor desarrolladas en niños con formación musical.

Medir la inteligencia implica la discusión sensible sobre la predisposición genética y la influencia ambiental, junto con las habilidades adquiridas con la experiencia. Schellenberg señala que los niños con capacidades cognitivas más altas son más propensos a tomar lecciones de música, y que este hecho puede sesgar los

estudios en los que los participantes no son asignados al azar a la música o las condiciones de control (Schellenberg, 2011a). Del mismo modo, también se sabe que el contexto socioeconómico influye en la probabilidad de que los niños tengan acceso a la educación musical (Southgate y Roscigno, 2009; Young et al., 2013). Schellenberg (2006) reportó una correlación positiva entre las clases de música y el coeficiente intelectual en niños de 6-11 años, y demostró que recibir lecciones de música en la niñez predice tanto el rendimiento académico como el coeficiente intelectual en la joven edad adulta (manteniendo unos ingresos familiares constantes a la par que un mismo nivel educativo de los padres). En otro estudio se probaron dos grupos de 6 años de edad, uno de los cuales recibió clases de piano o de canto en grupos pequeños durante 36 semanas (Schellenberg, 2004), y los otros niños recibieron clases de teatro. Estos últimos no mostraron aumentos relacionados en el CI a escala real y el rendimiento educativo estandarizado. Por otro lado, los resultados más pronunciados se dieron en el grupo de los niños que recibieron clases de canto en lugar de piano. Se lograron modestas pero consistentes avances en los cuatro índices del CI, incluyendo la comprensión verbal, la organización perceptiva, la libertad de distracción y la velocidad de procesamiento, lo que sugiere que la formación musical tiene efectos extendidos en el dominio general.

Las mediciones de la inteligencia se usan a menudo para predecir el logro académico. Una cuestión en este campo de investigación es, por lo tanto, cómo las actividades musicales influyen en el rendimiento académico en niños y adolescentes. A pesar de las afirmaciones iniciales de que este efecto puede deberse principalmente a diferencias en el nivel socioeconómico y antecedentes familiares, los estudios de intervención y las pruebas de inteligencia general parecen mostrar una asociación positiva entre la educación musical y el rendimiento académico. Por ejemplo, en un estudio de Southgate y Roscigno (2009) se analizaron bases de datos longitudinales que incluyen información sobre participación musical, logros académicos y antecedentes familiares. Sus resultados demuestran que, de hecho, la participación de la música dentro y fuera de la escuela puede actuar como un mediador del rendimiento académico probado como matemáticas y habilidades lectoras. Sin embargo, sus resultados también demuestran que existe una relación sistemática entre la participación musical y los antecedentes familiares. Sin embargo, un estudio reciente encontró que el logro académico puede predecirse independientemente del estatus socioeconómico sólo cuando el niño tiene acceso a un instrumento musical (Young et al., 2013). Curiosamente, este hallazgo enfatiza que las actividades musicales con un instrumento difieren de otras actividades artísticas a este respecto.

Además, se ha sugerido que las funciones ejecutivas actúan como mediadores en el impacto de las lecciones de música sobre las funciones cognitivas y la inteligencia. Schellenberg (2011a) tuvo como objetivo investigar en detalle esta hipótesis del efecto mediador de las funciones ejecutivas. Diseñó un estudio con niños de 9-12 años de edad, musicalmente formados y no formados, probando su CI y sus funciones ejecutivas. Los resultados de Schellenberg sugieren que no hay impacto de las funciones ejecutivas en la relación entre la formación musical y la inteligencia. Sin embargo, otros estudios han reportado tal influencia. Por ejemplo, ha habido evidencia de que la formación musical mejora la función ejecutiva a través del entrenamiento de la coordinación bimanual, la atención sostenida y la memoria funcional (Diamond y Lee, 2011; Moreno et al., 2011). Degé et al. (2011) utilizaron incluso un diseño muy similar al de Schellenberg con niños de 9 a 12 años para probar el papel de las funciones ejecutivas. Estos autores encontraron una influencia positiva del entrenamiento musical en las funciones ejecutivas y argumentaron que esta diferencia de resultados se debe al hecho de que en el estudio de Schellenberg no se incluyó una medida directa de la atención selectiva, que supuestamente desempeña un papel crucial en la música.

## **Habilidades sociales**

Aparte del concepto de CI general, Schellenberg (2011b) estudió la influencia de la formación musical sobre la inteligencia emocional en los niños, pero no encontró ninguna relación entre ellos. Por otra parte, otro estudio con niños de 7-8 años encontró una correlación positiva entre la formación musical y la comprensión emocional que desapareció, sin embargo, cuando el nivel individual de inteligencia fue controlado (Schellenberg y Mankarious, 2012). También otros estudios con adultos no encontraron correlación entre la formación musical y la inteligencia emocional (Trimmer y Cuddy, 2008). Un estudio de Petrides y colegas suyos con músicos encontró una correlación positiva entre la duración de la formación musical y las puntuaciones en inteligencia emocional (Petrides et al., 2006). Parece haber, pues, un cuadro todavía contradictorio acerca de la asociación entre la inteligencia emocional y la educación musical. Este resultado es interesante en la medida en que podría pensarse que la formación musical también podría aumentar las competencias sociales, dado que las actividades musicales activas han demostrado mejorar el desarrollo comunicativo y social en los bebés (Gerry et al., 2012). Además, un estudio de Kirschner y Tomasello (2009) encontró que en niños a la edad de 4 años las actividades musicales producían comportamientos de cooperación espontánea.

Otra forma de probar las habilidades sociales es investigar la sensibilidad a la prosodia emocional, que es una capacidad preciosa en la comunicación social. Diversos estudios han demostrado que la educación musical mejora la percepción y el reconocimiento de las emociones expresadas por las voces humanas (Strait et al., 2009; Lima y Castro, 2011), aunque un estudio anterior encontró que no el entrenamiento musical sino la inteligencia emocional predijo el reconocimiento de prosodia emocional (Trimmer y Cuddy, 2008). Así, al igual que en lo que respecta a la competencia emocional, la literatura que vincula la educación musical con el reconocimiento de la prosodia emocional es equívoca. El impacto de la educación musical en las habilidades sociales podría, por lo tanto, ser investigado más a fondo, comparando aspectos como los métodos de enseñanza de la música en grupos frente a las lecciones individuales, y el papel de las actividades musicales en grupo, por ejemplo en conjuntos instrumentales o coros.

## **Plasticidad a lo largo de la vida**

Las actividades musicales pueden tener un impacto beneficioso sobre la plasticidad cerebral y las capacidades cognitivas y físicas también en la vida adulta, después de los períodos críticos y sensibles en la infancia (Wan y Schlaug, 2010). Por ejemplo, Herdener y sus colegas mostraron que el entrenamiento del oído musical en los estudiantes puede provocar cambios funcionales en la activación del hipocampo en respuesta a la detección de novedades acústicas (Herdener et al., 2010). En general, en una edad avanzada, se puede observar una disminución de las funciones cognitivas y la plasticidad cerebral. Sin embargo, las actividades físicas y cognitivas pueden tener un impacto positivo en la preservación de estas habilidades en la vejez (Pitkala et al., 2013). En este sentido, la educación musical se ha propuesto como un medio viable para mitigar los cambios relacionados con la edad en la cognición auditiva (para una revisión ver Alain et al., 2013)

A menudo se observa que con la edad la inteligencia fluida disminuye, y que esto puede estar relacionado con una disminución del volumen del hipocampo (Reuben et al., 2011). A su vez, un estudio reciente de Oechslin et al. (2013) encontró que la inteligencia fluida es predicha por el volumen del hipocampo en los músicos, lo que sugiere que el entrenamiento musical podría ser utilizado como una estrategia para reducir el deterioro relacionado con la edad, de la inteligencia fluida. En otro estudio de Hanna-Pladdy y Mackay (2011), se encontraron diferencias significativas entre músicos ancianos y no músicos (60-83 años) en la memoria no verbal, la fluidez verbal y las funciones ejecutivas. Esto demuestra también que la actividad

musical puede impedir hasta cierto grado la disminución de las funciones cognitivas en el envejecimiento. Sin embargo, estas diferencias podrían deberse a diferencias de predisposición. No obstante, Bugos et al. (2007) realizaron un estudio en el que se descartaron influencias de predisposición, ya que asignaron a los participantes aleatoriamente a dos grupos que recibieron lecciones de piano o ningún tratamiento. Encontraron que las personas mayores de 60 años que comenzaron a aprender a tocar el piano y continuaron durante 6 meses mostraron mejores resultados en pruebas de memoria funcional, así como pruebas de habilidades motoras y velocidad perceptual, en comparación con un grupo control sin tratamiento. Dalcroze Eurhythmics, que es un método pedagógico basado en el aprendizaje de la música a través de los movimientos y el ritmo como elementos básicos, también se ha administrado a personas mayores. Un estudio mostró que un tratamiento con este método durante 6 meses influye positivamente en el equilibrio y la regularidad de la marcha en los ancianos (Trombetti et al., 2011). Dado que las caídas en esta población son un riesgo importante, es especialmente importante involucrarse en la capacitación de estas habilidades físicas a esta edad, lo que parece ser más eficiente en combinación con aspectos musicales de sincronización del movimiento rítmico y la adaptación dentro de un grupo.

Aunque hay resultados prometedores que sugieren que los músicos más adultos, en comparación con los controles pareados, muestran beneficios no sólo en transferencia cercana sino también en algunas tareas de transferencia lejana tales como el alcance visual-espacial, y el control sobre respuestas contradictorias y la distracción (Amer et al., 2013), el problema de naturaleza versus formación persiste. Aparte del estudio de Bugos et al. (2007) en el que utilizaron un diseño de asignación aleatoria, la investigación sobre la influencia de la educación musical en la plasticidad y los beneficios cognitivos en edades avanzadas, debe tener en cuenta la influencia de otras estimulaciones cognitivas y la aptitud física general, ya que es conocido que desempeñan un papel importante en la preservación del funcionamiento cognitivo y la independencia en los ancianos (Raz y Rodrigue, 2006; Erickson et al., 2012).

## **Variables que modulan la plasticidad del cerebro a través de la formación musical**

Un reto en la evaluación de los cambios de desarrollo en el cerebro debido al aprendizaje a largo plazo como el entrenamiento musical, es que muchos estudios que demuestran diferencias cerebrales estructurales son retrospectivos y miran a músicos adultos, lo que no descarta la posibilidad de que las personas con ciertas atipicidades estructurales sean más predispuestas a convertirse en músicos. Si este es el caso, entonces la distinción entre diferencias innatas y desarrolladas es bastante difícil. De hecho, el mayor objetivo de la mayoría de los estudios de formación, aparte de los de formación musical, es desentrañar los efectos de la formación longitudinal y las diferencias o factores preexistentes distintos a la intervención, como el género, la predisposición genética, el CI general, los antecedentes socioeconómicos y la influencia de los padres. Otra dificultad de las intervenciones en las poblaciones jóvenes se refiere al hecho de que los cerebros de los niños son muy heterogéneos, por lo que las comparaciones, incluso dentro de grupos de edad similares, pueden no ser muy informativas.

### **Predisposición genética**

El cerebro del músico es reconocido como un buen modelo para estudiar la plasticidad neural (Munte et al., 2002). El hecho de que en varios estudios se encontrara una correlación entre el alcance de las diferencias anatómicas y la edad en la que comenzó la educación musical, argumenta categóricamente en contra de la posibilidad de que estas diferencias sean preexistentes y la causa sea otra que la práctica de la música. Por otro lado, la contaminación de la mayoría de los estudios longitudinales con niños es que son correlacionales, y la mayoría no asignan a los sujetos aleatoriamente a la educación musical o a un grupo de

control. Como resultado, los efectos positivos observados sobre el funcionamiento cognitivo pueden no sólo derivarse de la práctica de la música, sino también de las diferencias en la motivación para el aprendizaje o la inteligencia general, dejando a un lado las predisposiciones musicales. Debido a que las habilidades cognitivas generales (Deary et al., 2010) y la personalidad (Veselka et al., 2009) están hasta cierto punto predeterminadas genéticamente, es improbable que las diferencias individuales en estas áreas observadas en músicos (versus no músicos) sean solamente consecuencia de la formación musical (Barrett et al., 2013; Corrigall et al., 2013).

El debate entre naturaleza y estimulación en relación a la plasticidad inducida por la práctica musical continúa, y ha comenzado a ganar ímpetu a medida que el número de estudios de neuroimagen sigue creciendo y los recientes estudios de asociación del genoma han confirmado que muchos atributos de musicalidad son hereditarios. La percepción del tono musical (Drayna et al., 2001), el oído absoluto (Theusch et al., 2009), la creatividad musical (Ukkola et al., 2009), y tal vez incluso la sensibilidad musical (Levitin et al. 2004), tienen todos ellos determinantes genéticos. Es importante destacar que estas predisposiciones son típicamente observadas en niños en las pruebas de ingreso a la escuela de música. Por lo tanto, es justo reconocer que mientras se aprende una habilidad compleja, como tocar un instrumento, se moldea la función y la estructura del cerebro, aunque puede haber otras variables explicativas que contribuyan a las diferencias observadas entre los cerebros de "músicos" y "no músicos".

### **Motivación y poder de recompensa de la música**

Por lo menos, algunos componentes de las mejores habilidades cognitivas encontradas en un tronco encefálico musicalmente entrenado se deben a cualidades innatas (Irvine, 1998), y por ello es difícil esperar que los estudios de intervención ecológicamente válidos sean capaces de separar este factor del efecto formativo (Barrett et al., 2013). Corrigall et al. (2013) han señalado que los niños y adolescentes con formación musical son típicamente buenos estudiantes, con una memoria auditiva y visual alta y un alto coeficiente intelectual, no necesariamente debidos a su educación musical, sino a predisposiciones genéticas, lo cual los hace también más propensos a estudiar un instrumento. Describen cómo una serie de rasgos individuales, como la conciencia, la persistencia, la atención selectiva y la autodisciplina que se necesitan en la educación musical, podrían ser las cualidades preexistentes que facilitan el aprendizaje, la plasticidad cerebral y los efectos de transferencia lejana.

De hecho, el rasgo de la personalidad "apertura a la experiencia", que Corrigall et al. (2013) encontraron que era considerablemente más prominente en aquellos que tomaron lecciones de música que en aquellos que no lo hicieron, se correlaciona con la curiosidad y la tendencia a explorar, y puede afectar la forma en que los niños aprenden y abordan nuevas habilidades como la música. Este rasgo de la personalidad en particular está determinado genéticamente hasta cierto punto, y puede ser también responsable de la motivación para aprender. Específicamente, se ha asociado la expresión de receptores D4 de dopamina en la corteza prefrontal con el rasgo apertura/intelecto (DeYoung et al., 2011) y se considera que la transmisión dopaminérgica prefrontal es responsable del control atencional y de la memoria funcional (Robbins, 2005). Los receptores de dopamina también juegan un papel importante en la formación de la motivación: las variantes genéticas de la proporción de los receptores de dopamina tipo 1 a tipo 2 en el núcleo estriado (Frank y Fossella, 2010) determinan la tendencia a aprender de la retroalimentación positiva en contraposición a la retroalimentación negativa, pudiendo afectar así la motivación intrínseca, un factor importante en la formación de cualquier habilidad compleja a largo plazo.

El valor gratificante de una actividad musical podría ser una de las fuerzas impulsoras de la plasticidad cerebral inducida por el entrenamiento musical. Debido al papel importante de la dopamina en la formación de la memoria a largo plazo (por ejemplo, Lisman y Grace, 2005), tanto los polimorfismos

genéticos sugeridos anteriormente como la actividad de la transmisión dopaminérgica inducida tendrá una influencia en los resultados del aprendizaje, así como en el aprendizaje futuro y la calidad de refuerzo del aprendizaje de la música. Una experiencia afectiva positiva, como el placer y el orgullo derivados de las primeras lecciones de música, probablemente promoverán la práctica futura y la duración total de la formación. En la práctica, es difícil controlar los niveles de motivación intrínseca en los estudios empíricos de la formación musical, como los realizados por Moreno y sus colegas (Moreno y Benny, 2003) pero su papel puede afectar considerablemente el resultado a largo plazo.

Otros factores que afectan la capacidad en el desempeño musical son el apoyo emocional de los padres y una cuidada relación con el maestro caracterizada por el mutuo agrado (Sloboda, 1993). Aunque no son el foco en este artículo, estos factores afectan en gran medida la motivación del niño en la práctica así como el resultado de su aprendizaje, y deberán tenerse en cuenta en futuros estudios de investigación de los efectos de la formación musical en comparación con otras formas de intervención formativa a largo plazo.

La variedad dentro de los músicos también puede ser una variable que contribuye al efecto de la educación musical. El nivel de formación musical está vinculado a una experiencia placentera cuando se escucha música (Gold et al., 2013), debido al estilo de escucha adoptado por los músicos y a la participación del sistema de recompensas musicalmente activado, el cual está también implicado en el refuerzo del aprendizaje (Salimpoor et al. Zatorre y Salimpoor, 2013). Sin embargo, se sabe poco sobre la variabilidad individual en las respuestas emocionales positivas inducidas por la música. Es posible, por ejemplo, que los individuos que experimentan emociones musicales profundamente gratificantes se sientan atraídos por la formación musical (de nuevo, con posibles influencias genéticas, como en individuos con síndrome de Williams, Levitin, 2012). Más tarde, el placer de la ejecución de la música puede añadirse a la motivación intrínseca por continuar con el proceso educativo, formando así un ciclo de auto-refuerzo en el que un estudiante con una predisposición innata para el disfrute de las emociones musicales, experimenta satisfacción con el propio desempeño de la actividad, lo que a su vez lo anima a seguir practicando. Además, al igual que con cualquier otro aprendizaje de habilidades que requiere años dominar, una alta tolerancia a la frustración y a la perseverancia son rasgos de personalidad que harían que un estudiante tuviera más probabilidades de continuar su formación (Barrett et al., 2013).

Curiosamente, los músicos pueden diferir en el nivel de disfrute que deriva de su actividad artística, con una particular diferencia entre los músicos de música popular, jazz y folk, versus músicos clásicos. Aunque los estudios se concentran principalmente en músicos educados para tocar un instrumento en particular, el tipo de educación que reciben puede afectar al resultado, no sólo debido a las diferencias de metodología sino también a través de las diferencias en la motivación. Una gran encuesta realizada en el Reino Unido entre 2006 y 2008 informó que los estudiantes/músicos de folk, jazz y música popular obtienen más placer en su trabajo que los músicos clásicos (de Bezenac y Swindells, 2009). Los músicos no clásicos reportaron más frecuentemente aspectos como "tocar por diversión", y generalmente más disfrute derivado de las actuaciones de grupo. Una de las conclusiones del estudio fue que los artistas de la música popular tienden a tener mayores niveles de motivación intrínseca (supuestamente aprenden a tocar un instrumento por deseo propio), y una edad más avanzada en el comienzo de la formación que los músicos clásicos. Estos últimos, que quizás se enfrentaron a mayores exigencias en disciplina y cumplimiento dentro del sistema educativo formal, tendieron a valorar las habilidades técnicas como aspectos superiores al placer, y presumiblemente tuvieron mayores niveles de motivación extrínseca por los premios a lo largo de su carrera, y por los elogios de sus maestros durante el proceso. Aunque los estudios de plasticidad cerebral hasta ahora se han concentrado principalmente en la educación en música clásica, puede ser importante señalar que los estudiantes con educación musical clásica y no-clásica pueden diferir en rasgos de personalidad (como meticulosidad, Corrigan et al., 2013), y en objetivos motivadores, y éstos podrían a su

vez contribuir a la observación de transferencias de ventajas cognitivas con sus correspondientes correlaciones cerebrales funcionales y estructurales.

La consideración mencionada de la motivación como variable de aprendizaje modulante, nos lleva a la pregunta de qué sucede con los resultados del aprendizaje y la transferencia de habilidades en los niños que se ven obligados a aprender a tocar un instrumento. En este caso, la formación musical puede ser una experiencia desagradable y estresante. El estrés experimentado en torno al episodio de aprendizaje, puede promover la formación de memoria relacionada con el estresor (factor de estrés) a través de la activación del cortisol y del receptor noradrenérgico en la amígdala, que proyecta al hipocampo y prioriza la consolidación de los estímulos emocionales cargados de excitación (Joëls et al., 2006). Sin embargo, la evidencia de diseños más ecológicos muestra que el estrés perjudica el aprendizaje de palabras y el rendimiento de la memoria en comparación con el no estrés (Schwabe y Wolf, 2010). Esto tiene que ver con el papel de la amígdala en la formación de la memoria bajo el estrés: no sólo mejora la consolidación de los estímulos relacionados con el estrés sino que también facilita un cambio hacia una respuesta más habitual (mediada por el núcleo estriado dorsal), alejándose de la conducta dirigida a objetivos, mediada por el lóbulo temporal medial y la corteza prefrontal (Schwabe et al., 2010). El equivalente de ese cambio en una situación de aprendizaje típica produciría un alejamiento de un procesamiento profundo y reflexivo bajo circunstancias de apoyo y no exigentes, en dirección hacia un procesamiento superficial bajo una ansiedad enfocada a resultados, afectando profundamente la memoria de los hechos (Fransson, 1977).

El estrés derivado del miedo al castigo, por lo tanto, afecta la forma en la que aprendemos, y a menudo conduce a un desempeño peor que la motivación por recompensa. El efecto depende de la tarea a realizar, pero se ha encontrado un impacto negativo en la formación espacial (Murty et al., 2011), procedimental (Wächter et al., 2009) y en la formación de la memoria declarativa que requiere el procesamiento cognitivo (Schwabe et al., 2010). Aunque no podemos elaborar exhaustivamente la literatura que trata la motivación, el aprendizaje y la transferencia en la investigación educativa, basta con decir que algunas formas de motivación por castigo que producen estrés, tienen un impacto negativo en el aprendizaje (Lepine et al., 2004).

En el contexto de la educación musical, se sugiere que la influencia de la personalidad y la motivación intrínseca antes mencionadas, deben tenerse en cuenta en futuros estudios. Por ejemplo, en los estudios de asignación aleatoria sobre el impacto de la formación musical, los participantes también deben ser invitados a declarar su motivación personal para adherirse a la formación, por lo menos antes y después de la intervención. Además, se podrían incorporar cuestionarios de personalidad para probar rasgos que afectan al estilo de aprendizaje (por ejemplo, sensibilidad a la recompensa, apertura, perseverancia). Estos factores podrían utilizarse como covariables en el análisis del efecto del entrenamiento musical, tanto en los estudios de comportamiento como en los de neuroimagen. Esta información ayudaría a determinar la magnitud de la influencia de la personalidad y la disposición motivacional en la adhesión a largo plazo al programa, así como su resultado en términos de habilidades de transferencia. Esto podría ser particularmente pertinente dado el hecho de que estos factores podrían no sólo limitar los efectos positivos de las actividades musicales, sino incluso ser perjudiciales para el desarrollo cognitivo y emocional si la actividad representa principalmente una fuente de estrés y afecto negativo. Además, esta información podría ayudar a desentrañar el impacto real de la formación, de la influencia de la personalidad y la motivación.

## **Ritmo y sincronización**

Aquí queremos señalar un aspecto específico, que podría representar un mecanismo subyacente de los beneficios transferibles de la formación musical. Esta característica específica está relacionada



con el hecho de que las actividades musicales suelen basarse en el ritmo. La mayoría de los estilos musicales tienen un patrón temporal subyacente que se denomina métrica, que define una estructura jerárquica entre los puntos temporales (Londres, 2004). Desde un punto de vista genético, la discriminación del ritmo se observa en los bebés hacia los 2 meses de edad (Trehub y Hannon, 2006). Al igual que los adultos, los bebés de 7 meses pueden inferir un latido subyacente, categorizando los ritmos basados en el medidor (Hannon y Johnson, 2005), y los bebés de 9 meses pueden notar con mayor facilidad pequeñas discrepancias temporales en los ritmos con marcado sentido métrico respecto a los no métricos (Bergeson y Trehub, 2006).

La teoría de la presencia dinámica (*Dynamic attending DAT*) sugiere que los patrones rítmicos en la música sólo pueden ser percibidos gracias a una sincronización de los procesos atencionales que perciben las periodicidades contenidas en el ritmo auditivo (Jones y Boltz, 1989). De hecho, las poblaciones neuronales en la corteza visual sincronizan con el ritmo regular de presentación del estímulo, que constituye un mecanismo de selección atencional (Lakatos et al., 2008). Por lo tanto, se ha sugerido que las actividades musicales que implican percepción y producción de ritmos, ejercitan procesos atencionales que benefician también otras funciones cognitivas. De hecho, un estudio reciente con niños demostró que las actividades musicales aumentan la precisión de los ritmos producidos (Slater et al., 2013), a la par que los músicos adultos son significativamente más precisos en reproducir patrones rítmicos (Chen et al., 2008), detectando irregularidades métricas (James et al., 2012), y en mantener el ritmo cuando no se proporciona externamente (Baer et al., 2013).

La sincronización o concordancia es, de hecho, un principio físico que describe la adaptación de al menos dos agentes oscilantes hacia una fase y un período comunes, lo que podría conducir a una sincronía perfecta entre los osciladores (Rosenblum y Pikovsky, 2003). En este sentido, también se puede considerar que la concordancia (Fitch, 2013) es el ajuste del comportamiento (producción musical propia, ejecución en conjunto, o movimientos como en la danza) al ritmo percibido o al pulso presente. Los seres humanos también pueden sincronizar múltiples modalidades motrices, incluyendo por ejemplo los movimientos del cuerpo o de los miembros, la vocalización e incluso la respiración y la frecuencia cardíaca (Müller y Lindenberger, 2011; Trost y Vuilleumier, 2013). Las poblaciones neuronales también pueden ser inducidas a la sincronía por estimulación sensorial (Gander et al., 2010) o por el movimiento, como ser balanceadas (Bayer et al., 2011).

La investigación sobre la plasticidad cerebral subcortical ha utilizado la frecuencia de respuesta (FFR) como indicador de la agudeza perceptiva (Moreno y Bidelman, 2013). El FFR es un componente de la respuesta auditiva del tronco encefálico (Tzounopoulos y Kraus, 2009) que está enlazado por fase y frecuencia a los parámetros acústicos de un estímulo auditivo. En este sentido el FFR representa evidencia de sincronía neural directa al sonido, ya sea música o habla. Varios estudios han utilizado este método para probar la plasticidad derivada del entrenamiento en el procesamiento perceptivo de los parámetros musicales y vocales o del habla, demostrando una respuesta más rápida en los expertos en música. (Chandrasekaran y Kraus, 2009).

Además, existe un estrecho vínculo entre el lenguaje y las habilidades de lectura, y la capacidad de percibir y producir ritmo, como lo documentan ampliamente los estudios en niños con dislexia (Huss et al., Goswami, 2012), o con deficiencias de atención, como por ejemplo en el Déficit de atención e hiperactividad (TDAH) (Ben-Pazi et al., 2003), mostrando dificultades en tareas rítmicas. De hecho, la insistencia en patrones rítmicos facilita el procesamiento del habla (Cason y Schon, 2012) y el desempeño en la discriminación perceptual en todos los dominios sensoriales, así como en las tareas de respuesta motora, mejorando cuando los estímulos se presentan de forma isócrona.

Parece, pues, que en la educación musical, la formación diaria de los mecanismos de procesamiento temporal tiene un efecto beneficioso sobre otras funciones cognitivas, como la lectura, en la que la atención tiene que guiarse de una manera específica. Por otra parte, un estudio de Tierney y Kraus (2013) demostró que la capacidad de marcar el pulso se asoció con un mejor rendimiento no sólo en la lectura, sino también en otras tareas demandantes de atención supuestamente basadas en las funciones ejecutivas. Marcar, producir o simplemente percibir un ritmo en cualquier dominio sensorial conduce a la formación de expectativas que facilita la orientación de los recursos atencionales, (Bolger et al., 2013) y la sincronía de diversas funciones corporales y neuronales. También hay evidencia de que el tiempo o el procesamiento temporal es una habilidad que explica parcialmente la variabilidad individual en velocidad cognitiva y en habilidades no verbales, hallazgos basados en tareas de producción de patrones isócronos seriados (Sheppard y Vernon, 2008; Holm et al., 2011; Loras et al., 2013), y pudiendo incluso apoyar las hipótesis de una mejor memoria verbal auditiva en los músicos (Jakobson et al., 2003).

Ser capaz de poder marcar el pulso puede ser importante para la función ejecutiva (Tierney y Kraus, 2013) e implica coordinación de movimientos, anticipación e integración sensoriomotora. Ser capaz de sincronizarse con un ritmo externo mientras se toca un instrumento requiere no sólo habilidades motoras finas, sino también una buena coordinación auditivo-motriz e integración sensoriomotora, capacidades que son también vitales en la planificación y ejecución de movimientos en general. De hecho, los registros en neuroimagen funcional de la integración sensoriomotora se incrementan en músicos que realizan una tarea de sincronización temporal, implicando aumentos en la interacción de la red cerebral incluyendo la corteza premotora, la corteza parietal posterior, y el tálamo (Krause et al., 2010), los cuales están también involucrados en procesos de atención y planificación motora (Coull, 2004). Además, esta capacidad de captación e interiorización de los patrones temporales es una habilidad útil en la comunicación social, en la que la reciprocidad y la toma de turno es esencial.

Los aspectos mencionados de la orientación de la atención, la formación de las expectativas temporales, la integración auditivo-motora, la coordinación de movimientos y la interacción social tienen en común que se basan en una sincronización y adaptación de procesos internos al ritmo externo de la música o las acciones de otros músicos (Trost y Vuilleumier, 2013). Por lo tanto, sugerimos que la sincronía rítmica y el posterior perfeccionamiento del procesamiento temporal juegan un papel clave en la influencia beneficiosa de la educación musical en el desarrollo de funciones ejecutivas y efectos de transferencia lejanos.

La sincronía rítmica también se ha sugerido como un mecanismo de inducción de la emoción (Juslin et al., 2010). Según Juslin y colegas, el proceso en el que los ritmos corporales internos, como la respiración, se adaptan al ritmo externo de la música contribuye a la inducción de una reacción emocional. Estar en sincronía con la música o con los otros músicos, por lo tanto, representaría una experiencia emocional y a menudo gratificante. Como se señaló en la sección anterior sobre la influencia de la motivación, las experiencias emocionales positivas que activan el sistema de recompensa, modulan la formación de la memoria y favorecen la plasticidad cerebral.

Además, las actividades musicales suelen ser sociales. De hecho, se ha propuesto que la función evolutiva de la música siempre ha sido aumentar la cooperación, la coordinación, la comunicación, la coparticipación, el contacto, la cognición social y la cohesión entre los miembros de un grupo (Koelsch, 2010). Parece que uno de estos efectos es el hecho de establecerse una cierta forma de sincronización social, lo que implica el respeto y la adaptación entre los componentes. De hecho, en estudios empíricos se ha descrito a menudo que actuar en sincronía con un compañero puede aumentar el compromiso prosocial (Kokal et al., 2011), la afiliación social (Hove y Risen, 2009), la confianza (Launay et al., 2013), la cooperación (Wiltermuth y Heath, 2009) y los sentimientos de compasión (Valdesolo et al., 2010; Valdesolo y Desteno, 2011). Al interpretar música en un grupo uno tiene que sincronizar automáticamente con los otros músicos. Por lo tanto, el

estado de sincronía se genera de forma natural, y es ya posible en niños en edad preescolar sincronizar sus percusiones más fácilmente en un contexto social (Kirschner y Tomasello, 2009). Aprender a realizar una actividad en sincronía con otros es apoyado por la activación del sistema de neuronas espejo (Tognoli et al., 2007; Overy y Molnar-Szakacs, 2009). Por lo tanto, sugerimos que este aspecto social de la formación musical puede añadirse al papel de recompensa y motivación en la formación de un cerebro en desarrollo. Además, el aprendizaje de algunas habilidades (cantar en un coro o tocar en un conjunto) distingue la formación musical de otras actividades sociales que no requieren sincronización de acciones con otros miembros del grupo, específicamente gracias al compromiso del sistema de neuronas espejo.

Otra evidencia de la plasticidad cerebral inducida directamente a través de la concordancia rítmica viene de la literatura de rehabilitación. La estimulación auditiva rítmica (RAS) es un método importante en la estimulación cerebral, que puede inducir una plasticidad corta pero también a largo plazo en un cerebro dañado (Thaut y Abiru, 2010). Por ejemplo, en los pacientes con Parkinson, estimular los circuitos dopaminérgicos en los ganglios basales conduce a una reducción de los síntomas del trastorno del movimiento (Thaut et al., 1996; Pacchetti et al., 2000). En otras enfermedades neurológicas o lesiones cerebrales adquiridas también la RAS tiene efectos beneficiosos, ya que la sincronización con un latido externo ayuda a recuperar la coordinación de los movimientos, a través de la estimulación de la integración auditivo-motora y sensoriomotora (Bradt et al., 2010; Rodríguez-Fornells et al. Al., 2012).

Las poblaciones neuronales en diversas áreas del cerebro pueden ser inducidas a la sincronía por estimulación externa (Gómez-Ramírez et al., 2011), siendo a la vez sugerido que la predicción temporal subyacente a la capacidad de sincronización sensoriomotora rítmica (Repp y Su, 2013) puede desempeñar un papel general en el comportamiento eficiente (Schwartz y Kotz, 2013). Específicamente, el mantenimiento de la regularidad rítmica de las oscilaciones neurales dentro de bandas de frecuencia particulares se ha sugerido como un mecanismo de comunicación a través de áreas neuronales lejanas (Canolty y Knight, 2010; Grahn, 2012), así como de percepción sensorial (Thut y Miniussi, 2009), y la consolidación de la memoria, particularmente durante el sueño (Fell y Axmacher, 2011). La sincronía rítmica puede ser condicionada usando, por ejemplo, la estimulación sensoriomotora (Schabus et al., 2013), o inducida en un cerebro dormido utilizando estimulación eléctrica (Marshall et al., 2006) o auditiva (Ngo et al., 2013), lo que da lugar a un aumento de la cantidad de ondas lentas, una mejor calidad de sueño y una mejor memoria declarativa.

Incluso en la literatura animal se puede encontrar un interesante efecto de inducción rítmica (Rickard et al., 2005). Por ejemplo, basados en una serie de experimentos sobre pollitos recién nacidos, Rickard y sus colegas observaron que los estímulos auditivos rítmicos complejos mejoran la memoria promoviendo niveles moderados de excitación fisiológica mediante la modulación noradrenérgica de los sistemas de memoria (Rickard et al., 2001; Rickard, 2009). Los autores concluyeron que es importante que el estímulo auditivo contenga cierta complejidad rítmica, ya que los simples ritmos metronómicos o los ritmos sin métrica no tienen ningún efecto de realce de la memoria (Toukhsati y Rickard, 2001). Además, los ritmos no métricos (es decir, que consisten en tonos no alineados con el latido dominante) produjeron déficits de aprendizaje y memoria en una tarea de laberinto en ratones, mientras que las ratas expuestas a música no rítmica desarrollaron mal una tarea de aprendizaje espacial Schreckenber y Bird, 1987, Rauscher et al., 1998). Esto sugiere que las estimulaciones auditivas con una estructura rítmica no métrica podrían comprometer los procesos de memoria. Además, estos estudios muestran que incluso en una condición de escucha pasiva el rendimiento podría ser mejorado en animales. Sin embargo, queremos enfatizar que una participación activa en una actividad rítmica podría amplificar aún más los efectos, ya que se sabe que la participación activa en una actividad musical, en comparación con la escucha pasiva, sólo tiene por ejemplo un efecto más fuerte sobre la función ejecutiva en los ancianos (Bugos, 2010).

Proponemos que el compromiso activo que implica una producción sincronizada de respuestas motoras, es necesario para el efecto facilitador sobre los recursos atencionales, el control de movimiento, la memoria de trabajo auditiva y otras funciones que dependen del procesamiento temporal, así como la sincronía social. Estos aspectos particulares de la formación musical, ausentes en las artes visuales o en la formación teatral, contribuyen al amplio desarrollo de las capacidades cognitivas y lo hacen muy diferente de otras formas de expresión artística. Por lo tanto, sugerimos que un grupo de control adecuado que se compare a la música como una forma de intervención en la infancia, podría ser utilizar una actividad de grupo caracterizada también por la sincronía rítmica y la sincronía social, como por ejemplo lecciones de deporte en equipo (por ejemplo, remo, bádminton o voleibol).

## Conclusión

En esta revisión de la literatura se demuestra que la formación musical en la infancia no sólo mejora muchas funciones cognitivas, sino que se acompaña de cambios neuroplásticos en la estructura y función del cerebro. Aunque esta influencia parece estar fuertemente potenciada cuando el entrenamiento musical tiene lugar durante períodos sensibles, hemos dado algunos ejemplos de que la plasticidad cerebral inducida por la música ocurre también más adelante en la vida. En este artículo queremos señalar factores específicos que afectan el valor relativo de la educación musical en comparación con otros tipos de entrenamiento longitudinal en la niñez, que requieren un compromiso similar de los recursos cognitivos y demandan una inversión de tiempo global significativa. Estos factores incluyen la importancia de la motivación, el afecto y la comunicación social en el aprendizaje de la música, así como el papel potencial de la sincronía rítmica. En consecuencia, varias cuestiones, que han sido tratadas en otros documentos de revisión recientes, quedaron fuera del alcance de este artículo. La formación musical da como resultado un mejor logro en otros ámbitos que no sean meras interpretaciones musicales, como habilidades verbales, aprendizaje de segundas lenguas, razonamiento no verbal e inteligencia general. Por lo tanto, el consejo para padres y educadores es claro: promover la formación instrumental en la primera infancia, ya que puede ser ventajoso para toda la vida. Sin embargo, el momento preciso de las "ventanas de oportunidad" dentro de las cuales se debe proporcionar una estimulación ambiental particular a un niño para que tenga el impacto más fuerte, es probablemente antes de los siete años, aunque el sistema auditivo podría beneficiarse de un comienzo anterior, a los cinco (o incluso a los dos, Skoe y Kraus, 2013), mientras que otras estructuras, como por ejemplo los tractos de materia blanca, siguen siendo plásticos hasta la edad adulta.

En particular, el aspecto de la motivación está subrepresentado en la literatura existente sobre la formación musical. El vínculo entre la actividad del sistema de recompensa y las diversas formas de aprendizaje es bien conocido: por ejemplo, el aprendizaje del hipocampo (memoria espacial, semántica y episódica) se incrementa con la actividad simultánea del sistema de recompensa (involucrando la vía neural dopaminérgica del área tegmental ventral y el núcleo estriado ventral) (Lisman y Grace, 2005), sin mencionar el simple mecanismo de condicionamiento de recompensas que subyace en muchas tareas bien documentadas en las que se han observado mejoras en el aprendizaje y la memoria (por ejemplo, Delgado y Dickerson, 2012).

Además, en esta revisión hemos propuesto la inducción o sincronía rítmica como un mecanismo subyacente principal que es responsable del efecto beneficioso del entrenamiento musical en las funciones cognitivas, especialmente con respecto a las funciones ejecutivas. Los ritmos musicales ayudan a orientar los procesos atencionales en el tiempo, lo que implica un beneficio para la preparación y el control de las acciones motoras, y el perfeccionamiento del procesamiento temporal de la información. Hemos reportado varios estudios que sugieren que estos procesos también están vinculados a funciones cognitivas como la

capacidad de lectura y el enfoque atencional. Además, la sincronía rítmica también se considera como un mecanismo de inducción de la emoción, lo que una vez más insinúa el aspecto placentero de las actividades musicales.

Por otra parte, la ejecución musical se asocia frecuentemente con un aspecto descuidado y menos glamuroso, como es la ansiedad de rendimiento de un músico (Kenny y Osborne, 2006). El estrés también desempeña un papel en el aprendizaje, con niveles moderados que aumentan el aprendizaje y altos niveles que lo inhiben (Joëls et al., 2006; Howland y Wang, 2008). A diferencia de un programa típico de la escuela primaria, la educación musical formal expone al niño a muchas oportunidades de actuaciones solistas en vivo, que pueden ser estresantes a veces, sin mencionar la presión interna de querer funcionar bien mientras toda la audiencia está escuchando un posible error (Stoeber y Eismann, 2007). Naturalmente, la exposición a este tipo de estrés permite al individuo aprender a superar su impacto desalentador con el tiempo, pero puede ser una fuente de estrés infantil que debe tenerse en cuenta especialmente en el caso de individuos altamente sensibles. Por lo tanto, los estudios futuros de cualquier intervención de formación a largo plazo deberían idealmente tener en cuenta las diferencias individuales en la motivación para aprender a tocar un instrumento, así como los niveles subjetivos de estrés asociados con la actividad de aprendizaje, como factores que modulan potencialmente los efectos investigados.

En la Figura 1 ofrecemos un resumen de las habilidades de transferencia cercana y lejana promovidas por la educación musical, de acuerdo con la literatura revisada en la sección *Efectos sobre las Funciones Cognitivas*. Designamos habilidades de transferencia cercana, a aquellas que están estrechamente vinculadas al dominio de la formación musical, como las habilidades motoras finas y la escucha. En particular, identificamos el procesamiento temporal y la orientación de la atención en el tiempo como una habilidad que se perfecciona en los músicos, pero que no se ha descrito explícitamente como una habilidad de transferencia. En lugar de eso, señalamos que esta particular habilidad de procesamiento de la información temporal probablemente subyace a otras habilidades de transferencia como la lectura y la memoria verbal. Las habilidades de transferencia lejana incluyen habilidades no relacionadas con el contexto de tocar un instrumento pero que se generalizan a otros dominios, como funciones ejecutivas y habilidades lingüísticas. En el centro, se enumeran las variables que modulan los efectos de la formación musical. Estos incluyen, en primer lugar, las predisposiciones genéticamente determinadas (musicalidad, personalidad y disposición motivacional, sección *Predisposiciones Genéticas*) y la edad al inicio (sección *Períodos Críticos y Sensibles*). En segundo lugar, enumeramos el grado de motivación intrínseca y su calidad afectiva (asociada con el castigo o la recompensa), y el papel de los padres y maestros (sección *Motivación y poder de recompensa de la música*). Y en tercer lugar, dos factores que modulan el desarrollo del cerebro a través de la formación musical en sí: la sincronía rítmica y las emociones gratificantes inducidas por la música (secciones *Ritmo y Entrenamiento* y *Motivación y poder gratificante de la música*).

Aprender a tocar un instrumento ofrece al niño la oportunidad de adquirir una autoexpresión creativa y de desarrollar una identidad. Además, la formación musical puede ser una actividad de ocio, además de la posibilidad de aprender otra forma de disciplina fuera del marco del currículo escolar, lo que da la oportunidad de recompensar las experiencias de auto-logro y refuerzo positivo. Por otra parte, la educación musical en preescolar, o en los primeros años de clases instrumentales, así como el hecho de cantar en un coro, tiene un importante componente social. Aprender a hacer música juntos requiere el respeto de los demás y enseña reglas y habilidades comunicativas implícitas. De hecho, se ha sugerido que hacer música en un grupo puede servir a un propósito evolutivo de aumentar la comunicación, la coordinación, la cooperación y hasta la empatía dentro de un grupo (Koelsch, 2010). Esta noción enfatiza el hecho de que hacer música en grupo puede ser una actividad muy gratificante. Además, el contexto social y el bienestar también tienen una influencia decisiva en la plasticidad cerebral (Davidson y McEwen, 2012), lo que sugiere que el bienestar inducido por las actividades musicales, a su vez, ayudará a configurar las

funciones cerebrales a través de la influencia mediadora del sistema de recompensa. Por lo tanto, concluimos que la educación musical que comienza ya temprano en la infancia ofrece la oportunidad de afinar y entrenar al cerebro para importantes funciones cognitivas y posiblemente también sociales. Además, proporciona al niño técnicas y bases que probablemente servirán como un beneficio para toda la vida; por no mencionar que haber aprendido a tocar un instrumento en la infancia puede ser una gran fuente de placer más adelante en la vida.



Ewa A. Miendlarzewska<sup>1,2\*</sup> and



Wiebke J. Trost<sup>2\*</sup>

- 1 Department of Fundamental Neurosciences, (CMU), University of Geneva, Geneva, Switzerland
- 2 Swiss Centre of Affective Sciences, University of Geneva, Geneva, Switzerland

## Author Contributions

Ewa A. Miendlarzewska and Wiebke J. Trost have both contributed to the writing of the manuscript.

## Conflict of Interest Statement

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

## Acknowledgments

The authors thank the National Center of Competence in Research (NCCR) in Affective Sciences (No. 51NF40-104897) at the University of Geneva for supporting this publication. Ewa A. Miendlarzewska would like to thank Carlo V. Cannistraci for inspiring this review.

## References

Alain, C., Zendel, B. R., Hutka, S., and Bidelman, G. M. (2013). Turning down the noise: the benefit of musical training on the aging auditory brain. *Hear. Res.* doi: 10.1016/j.heares.2013.06.008. [Epub ahead of print].

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Amer, T., Kalender, B., Hasher, L., Trehub, S. E., and Wong, Y. (2013). Do older professional musicians have cognitive advantages? *PLoS ONE* 8:e71630. doi: 10.1371/journal.pone.0071630

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Anvari, S. H., Trainor, L. J., Woodside, J., and Levy, B. A. (2002). Relations among musical skills, phonological processing, and early reading ability in preschool children. *J. Exp. Child Psychol.* 83, 111–130. doi: 10.1016/S0022-0965(02)00124-8

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Baer, L. H., Thibodeau, J. L., Gralnick, T. M., Li, K. Z., and Penhune, V. B. (2013). The role of musical training in emergent and event-based timing. *Front. Hum. Neurosci.* 7:191. doi: 10.3389/fnhum.2013.00191

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Banich, M. T. (2009). Executive function the search for an integrated account. *Curr. Dir. Psychol. Sci.* 18, 89–94. doi: 10.1111/j.1467-8721.2009.01615.x

[CrossRef Full Text](#)

Barrett, K. C., Ashley, R., Strait, D. L., and Kraus, N. (2013). Art and science: how musical training shapes the brain. *Front. Psychol.* 4:713. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00713

[PubMed Abstract](#) | [PubMed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Bava, S., Thayer, R., Jacobus, J., Ward, M., Jernigan, T. L., and Tapert, S. F. (2010). Longitudinal characterization of white matter maturation during adolescence. *Brain Res.* 1327, 38–46. doi: 10.1016/j.brainres.2010.02.066

[PubMed Abstract](#) | [PubMed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Bavelier, D., Green, C. S., and Dye, M. W. G. (2010). Children, wired: for better and for worse. *Neuron* 67, 692–701. doi: 10.1016/j.neuron.2010.08.035

[PubMed Abstract](#) | [PubMed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Bayer, L., Constantinescu, I., Perrig, S., Vienne, J., Vidal, P.-P., Mühlethaler, M., et al. (2011). Rocking synchronizes brain waves during a short nap. *Curr. Biol.* 21, R461–R462. doi: 10.1016/j.cub.2011.05.012

[PubMed Abstract](#) | [PubMed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Bengtsson, S. L., Nagy, Z., Skare, S., Forsman, L., Forsberg, H., and Ullén, F. (2005). Extensive piano practicing has regionally specific effects on white matter development. *Nat. Neurosci.* 8, 1148–1150. doi: 10.1038/nn1516

[PubMed Abstract](#) | [PubMed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Ben-Pazi, H., Gross-Tsur, V., Bergman, H., and Shalev, R. S. (2003). Abnormal rhythmic motor response in children with attention-deficit-hyperactivity disorder. *Dev. Med. Child Neurol.* 45, 743–745. doi: 10.1111/j.1469-8749.2003.tb00883.x

[PubMed Abstract](#) | [PubMed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Bergeson, T. R., and Trehub, S. E. (2006). Infants perception of rhythmic patterns. *Music Percept.* 23, 345–360. doi: 10.1525/mp.2006.23.4.345

[CrossRef Full Text](#)

Besson, M., Chobert, J., and Marie, C. (2011). Transfer of training between music and speech: common processing, attention, and memory. *Front. Psychol.* 2:94. doi: 10.3389/fpsyg.2011.00094

[PubMed Abstract](#) | [PubMed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Besson, M., Schon, D., Moreno, S., Santos, A. E., and Magne, C. (2007). Influence of musical expertise and musical training on pitch processing in music and language. *Restor. Neurol. Neurosci.* 25, 399–410.

[PubMed Abstract](#) | [PubMed Full Text](#)

Bialystok, E., and Depape, A. M. (2009). Musical expertise, bilingualism, and executive functioning. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 35, 565–574. doi: 10.1037/a0012735

[PubMed Abstract](#) | [PubMed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Blood, A. J., and Zatorre, R. J. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 98, 11818–11823. doi: 10.1073/pnas.191355898

[PubMed Abstract](#) | [PubMed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Bolger, D., Trost, W., and Schön, D. (2013). Rhythm implicitly affects temporal orienting of attention across modalities. *Acta Psychol.* 142, 238–244. doi: 10.1016/j.actpsy.2012.11.012

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Bradt, J., Magee, W. L., Dileo, C., Wheeler, B. L., and McGilloway, E. (2010). Music therapy for acquired brain injury. *Cochrane Database Syst. Rev.* 7:CD006787. doi: 10.1002/14651858.CD006787.pub2

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Bugos, J. A. (2010). The benefits of music instruction on processing speed, verbal fluency, and cognitive control in aging. *Music Educ. Res. Int.* 4, 1–9.

Bugos, J. A., Perlstein, W. M., McCrae, C. S., Brophy, T. S., and Bedenbaugh, P. H. (2007). Individualized piano instruction enhances executive functioning and working memory in older adults. *Aging Ment. Health* 11, 464–471. doi: 10.1080/13607860601086504

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Butzlaff, R. (2000). Can music be used to teach reading? *J. Aesthet. Educ.* 34, 167–178. doi: 10.2307/3333642

[CrossRef Full Text](#)

Canolty, R. T., and Knight, R. T. (2010). The functional role of cross-frequency coupling. *Trends Cogn. Sci.* 14, 506–515. doi: 10.1016/j.tics.2010.09.001

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Cason, N., and Schon, D. (2012). Rhythmic priming enhances the phonological processing of speech. *Neuropsychologia* 50, 2652–2658. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2012.07.018

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Chan, A. S., Ho, Y., and Cheung, M. (1998). Music training improves verbal memory. *Nature* 396, 128. doi: 10.1038/24075

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Chandrasekaran, B., and Kraus, N. (2010). Music, noise-exclusion, and learning. *Music Percept.* 27, 297–306. doi: 10.1525/mp.2010.27.4.297

[CrossRef Full Text](#)

Chen, J. L., Penhune, V. B., and Zatorre, R. J. (2008). Moving in time: brain networks for auditory-motor synchronization are modulated by rhythm complexity and musical training. *J. Cogn. Neurosci.* 20, 226–239. doi: 10.1162/jocn.2008.20018

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Chobert, J., Francois, C., Velay, J. L., and Besson, M. (2012). Twelve months of active musical training in 8- to 10-year-old children enhances the preattentive processing of syllabic duration and voice onset time. *Cereb Cortex.* doi: 10.1093/cercor/bhs377. [Epub ahead of print].

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Corrigall, K. A., Schellenberg, E. G., and Misura, N. M. (2013). Music training, cognition, and personality. *Front. Psychol.* 4:222. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00222

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)



Corrigall, K. A., and Trainor, L. J. (2009). Effects of musical training on key and harmony perception. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1169, 164–168. doi: 10.1111/j.1749-6632.2009.04769.x

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Costa-Giomi, E. (1999). The effects of three years of piano instruction on children's cognitive development. *J. Res. Music Educ.* 47, 198–212. doi: 10.2307/3345779

[CrossRef Full Text](#)

Coull, J. T. (2004). fMRI studies of temporal attention: allocating attention within, or towards, time. *Cogn. Brain Res.* 21, 216–226. doi: 10.1016/j.cogbrainres.2004.02.011

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Dalla Bella, S., Peretz, I., and Aronoff, N. (2003). Time course of melody recognition: a gating paradigm study. *Percept. Psychophys.* 65, 1019–1028. doi: 10.3758/BF03194831

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Davidson, R. J., and McEwen, B. S. (2012). Social influences on neuroplasticity: stress and interventions to promote well-being. *Nat. Neurosci.* 15, 689–695. doi: 10.1038/nn.3093

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Deary, I. J., Penke, L., and Johnson, W. (2010). The neuroscience of human intelligence differences. *Nat. Rev. Neurosci.* 11, 201–211. doi: 10.1038/nrn2793

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

de Bezenac, C., and Swindells, R. (2009). No pain, no gain? Motivation and self-regulation in music learning. *Int. J. Educ. Arts.* 10, 1–34.

Degé, F., Kubicek, C., and Schwarzer, G. (2011). Music lessons and intelligence: a relation mediated by executive functions. *Music Percept.* 29, 195–201. doi: 10.1525/mp.2011.29.2.195

[CrossRef Full Text](#)

Delgado, M. R., and Dickerson, K. C. (2012). Reward-related learning via multiple memory systems. *Biol. Psychiatry* 72, 134–141. doi: 10.1016/j.biopsych.2012.01.023

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

de Manzano, O., Theorell, T., Harmat, L., and Ullen, F. (2010). The psychophysiology of flow during piano playing. *Emotion* 10, 301–311. doi: 10.1037/a0018432

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

DeYoung, C. G., Cicchetti, D., Rogosch, F. A., Gray, J. R., Eastman, M., and Grigorenko, E. L. (2011). Sources of cognitive exploration: genetic variation in the prefrontal dopamine system predicts Openness/Intellect. *J. Res. Pers.* 45, 364–371. doi: 10.1016/j.jrjp.2011.04.002

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Diamond, A., and Lee, K. (2011). Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. *Science* 333, 959–964. doi: 10.1126/science.1204529

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Drayna, D., Manichaikul, A., de Lange, M., Snieder, H., and Spector, T. (2001). Genetic correlates of musical pitch recognition in humans. *Science* 291, 1969–1972. doi: 10.1126/science.291.5510.1969

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Erickson, K. I., Weinstein, A. M., and Lopez, O. L. (2012). Physical activity, brain plasticity, and Alzheimer's disease. *Arch. Med. Res.* 43, 615–621. doi: 10.1016/j.arcmed.2012.09.008

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Fell, J., and Axmacher, N. (2011). The role of phase synchronization in memory processes. *Nat. Rev. Neurosci.* 12, 105–118. doi: 10.1038/nrn2979

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Fitch, W. T. (2013). Rhythmic cognition in humans and animals: distinguishing meter and pulse perception. *Front. Syst. Neurosci.* 7:68. doi: 10.3389/fnsys.2013.00068

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Forgeard, M., Winner, E., Norton, A., and Schlaug, G. (2008). Practicing a musical instrument in childhood is associated with enhanced verbal ability and nonverbal reasoning. *PLoS ONE* 3:e3566. doi: 10.1371/journal.pone.0003566

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Francois, C., Chobert, J., Besson, M., and Schon, D. (2013). Music training for the development of speech segmentation. *Cereb. Cortex.* 23, 2038–2043. doi: 10.1093/cercor/bhs180

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Frank, M. J., and Fossella, J. A. (2010). Neurogenetics and pharmacology of learning, motivation, and cognition. *Neuropsychopharmacology* 36, 133–152. doi: 10.1038/npp.2010.96

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Fransson, A. (1977). On qualitative differences in learning: iv—effects of intrinsic motivation and extrinsic test anxiety on process and outcome. *Br. J. Educ. Psychol.* 47, 244–257. doi: 10.1111/j.2044-8279.1977.tb02353.x

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Gander, P. E., Bosnyak, D. J., and Roberts, L. E. (2010). Acoustic experience but not attention modifies neural population phase expressed in human primary auditory cortex. *Hear. Res.* 269, 81–94. doi: 10.1016/j.heares.2010.07.001

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Gerry, D., Unrau, A., and Trainor, L. J. (2012). Active music classes in infancy enhance musical, communicative and social development. *Dev. Sci.* 15, 398–407. doi: 10.1111/j.1467-7687.2012.01142.x

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Gold, B. P., Frank, M. J., Bogert, B., and Brattico, E. (2013). Pleasurable music affects reinforcement learning according to the listener. *Front. Psychol.* 4:541. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00541

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Gomez-Ramirez, M., Kelly, S. P., Molholm, S., Sehatpour, P., Schwartz, T. H., and Foxe, J. J. (2011). Oscillatory sensory selection mechanisms during intersensory attention to rhythmic auditory and visual inputs: a human electrocorticographic investigation. *J. Neurosci.* 31, 18556–18567. doi: 10.1523/JNEUROSCI.2164-11.2011

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Goswami, U. (2012). Entraining the brain: applications to language research and links to musical entrainment. *Empir. Musicol. Rev.* 7, 57–63.

Grahn, J. A. (2012). Neural mechanisms of rhythm perception: current findings and future perspectives. *Top. Cogn. Sci.* 4, 585–606. doi: 10.1111/j.1756-8765.2012.01213.x

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Green, C., and Bavelier, D. (2008). Exercising your brain: a review of human brain plasticity and training-induced learning. *Psychol. Aging* 23, 692. doi: 10.1037/a0014345

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Green, C. S., and Bavelier, D. (2012). Learning, attentional control, and action video games. *Curr. Biol.* 22, R197–R206. doi: 10.1016/j.cub.2012.02.012

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Gregersen, P., Kowalsky, E., Kohn, N., and Marvin, E. (2000). Early childhood music education and predisposition to absolute pitch: teasing apart genes and environment. *Am. J. Med. Genet.* 98, 280–282. doi: 10.1002/1096-8628(20010122)98:3<280::AID-AJMG1083>3.0.CO;2-6

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Haimson, J., Swain, D., and Winner, E. (2011). Do mathematicians have above average musical skill? *Music Percept.* 29, 203–213. doi: 10.1525/mp.2011.29.2.203

[CrossRef Full Text](#)

Hanna-Pladdy, B., and Mackay, A. (2011). The relation between instrumental musical activity and cognitive aging. *Neuropsychology* 25, 378–386. doi: 10.1037/a0021895

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Hannon, E. E., and Trainor, L. J. (2007). Music acquisition: effects of enculturation and formal training on development. *Trends Cogn. Sci.* 11, 466–472. doi: 10.1016/j.tics.2007.08.008

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Hannon, E., and Johnson, S. (2005). Infants use meter to categorize rhythms and melodies: implications for musical structure learning. *Cogn. Psychol.* 50, 354–377. doi: 10.1016/j.cogpsych.2004.09.003

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Hansen, M., Wallentin, M., and Vuust, P. (2012). Working memory and musical competence of musicians and non-musicians. *Psychol. Music* 41, 779–793. doi: 10.1177/0305735612452186

[CrossRef Full Text](#)

Hensch, T. K. (2004). Critical period regulation. *Annu. Rev. Neurosci.* 27, 549–579. doi: 10.1146/annurev.neuro.27.070203.144327

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Herdener, M., Esposito, F., Di Salle, F., Boller, C., Hilti, C. C., Habermeyer, B., et al. (2010). Musical training induces functional plasticity in human hippocampus. *J. Neurosci.* 30, 1377–1384. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4513-09.2010

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Herholz, S. C., and Zatorre, R. J. (2012). Musical training as a framework for brain plasticity: behavior, function, and structure. *Neuron* 76, 486–502. doi: 10.1016/j.neuron.2012.10.011

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Hetland, L. (2000). Learning to make music enhances spatial reasoning. *J. Aesthet. Educ.* 34, 179–238. doi: 10.2307/3333643

[CrossRef Full Text](#)

Ho, Y., Cheung, M., and Chan, A. S. (2003). Music training improves verbal but not visual memory: cross-sectional and longitudinal explorations in children. *Neuropsychology* 17, 439–450. doi: 10.1037/0894-4105.17.3.439

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Holm, L., Ullén, F., and Madison, G. (2011). Intelligence and temporal accuracy of behaviour: unique and shared associations with reaction time and motor timing. *Exp. Brain Res.* 214, 175–183. doi: 10.1007/s00221-011-2817-6

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Hove, M. J., and Risen, J. L. (2009). It's all in the timing: interpersonal synchrony increases affiliation. *Soc. Cogn.* 27, 949–960. doi: 10.1521/soco.2009.27.6.949

[CrossRef Full Text](#)

Howland, J. G., and Wang, Y. T. (2008). Chapter 8 Synaptic plasticity in learning and memory: stress effects in the hippocampus. *Prog. Brain Res.* 169, 145–158. doi: 10.1016/S0079-6123(07)00008-8

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Huss, M., Verney, J. P., Fosker, T., Mead, N., and Goswami, U. (2011). Music, rhythm, rise time perception and developmental dyslexia: perception of musical meter predicts reading and phonology. *Cortex* 47, 674–689. doi: 10.1016/j.cortex.2010.07.010

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Hyde, K. L., Lerch, J., Norton, A., Forgeard, M., Winner, E., Evans, A. C., et al. (2009). The neurosciences and music III: disorders and plasticity: the effects of musical training on structural brain development a longitudinal study. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1169, 182–186. doi: 10.1111/j.1749-6632.2009.04852.x

[CrossRef Full Text](#)

Irvine, S. H. (1998). Innate talents: a psychological tautology? *Behav. Brain Sci.* 21, 419–419. doi: 10.1017/S0140525X98361233

[CrossRef Full Text](#)

Jakobson, L. S., Cuddy, L. L., and Kilgour, A. R. (2003). Time tagging: a key to musicians' superior memory. *Music Percept.* 20, 307–313. doi: 10.1525/mp.2003.20.3.307

[CrossRef Full Text](#)

James, C. E., Michel, C. M., Britz, J., Vuilleumier, P., and Hauert, C. A. (2012). Rhythm evokes action: early processing of metric deviances in expressive music by experts and laymen revealed by ERP source imaging. *Hum. Brain Mapp.* 33, 2751–2767. doi: 10.1002/hbm.21397

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Jentschke, S., and Koelsch, S. (2009). Musical training modulates the development of syntax processing in children. *Neuroimage* 47, 735–744. doi: 10.1016/j.neuroimage.2009.04.090

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Joëls, M., Pu, Z., Wiegert, O., Oitzl, M. S., and Krugers, H. J. (2006). Learning under stress: how does it work? *Trends Cogn. Sci.* 10, 152–158. doi: 10.1016/j.tics.2006.02.002

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Jolles, D., and Crone, E. A. (2012). Training the developing brain: a neurocognitive perspective. *Front. Hum. Neurosci.* 6:76. doi: 10.3389/fnhum.2012.00076

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Jones, M. R., and Boltz, M. (1989). Dynamic attending and responses to time. *Psychol. Rev.* 96, 459–491. doi: 10.1037/0033-295X.96.3.459

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Juslin, P. N., Liljeström, S., Västfjäll, D., and Lundqvist, L.-O. (2010). “How does music evoke emotions? Exploring the underlying mechanisms,” in *Handbook of Music and Emotion: Theory, Research, Applications*, eds P. N. Juslin and J. Sloboda (Oxford: Oxford University Press), 605–642.

Kenny, D. T., and Osborne, M. S. (2006). Music performance anxiety: new insights from young musicians. *Adv. Cogn. Psychol.* 2, 103–112. doi: 10.2478/v10053-008-0049-5

[CrossRef Full Text](#)

Keshavan, M. S., Diwadkar, V. A., DeBellis, M., Dick, E., Kotwal, R., Rosenberg, D. R., et al. (2002). Development of the corpus callosum in childhood, adolescence and early adulthood. *Life Sci.* 70, 1909–1922. doi: 10.1016/S0024-3205(02)01492-3

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Kinney, H. C., Kroman, A. S., and Gilles, F. H. (1988). Sequence of central nervous system myelination in human infancy. II. Patterns of myelination in autopsied infants. *J. Neuropathol. Exp. Neurol.* 47, 217–234. doi: 10.1097/00005072-198805000-00003

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Kirschner, S., and Tomasello, M. (2009). Joint drumming: social context facilitates synchronization in preschool children. *J. Exp. Child Psychol.* 102, 299–314. doi: 10.1016/j.jecp.2008.07.005

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Knudsen, E. I. (2004). Sensitive periods in the development of the brain and behavior. *J. Cogn. Neurosci.* 16, 1412–1425. doi: 10.1162/0898929042304796

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Koelsch, S. (2010). Towards a neural basis of music-evoked emotions. *Trends Cogn. Sci.* 14, 131–137. doi: 10.1016/j.tics.2010.01.002

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Koelsch, S., Fritz, T., V. Cramon, D. Y., Muller, K., and Friederici, A. D. (2006). Investigating emotion with music: an fMRI study. *Hum. Brain Mapp.* 27, 239–250. doi: 10.1002/hbm.20180

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Kokal, I., Engel, A., Kirschner, S., and Keysers, C. (2011). Synchronized drumming enhances activity in the caudate and facilitates prosocial commitment—if the rhythm comes easily. *PLoS ONE* 6:e27272. doi: 10.1371/journal.pone.0027272

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Kral, A., and Eggermont, J. J. (2007). What's to lose and what's to learn: development under auditory deprivation, cochlear implants and limits of cortical plasticity. *Brain Res. Rev.* 56, 259–269. doi: 10.1016/j.brainresrev.2007.07.021

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Kral, A., and Sharma, A. (2012). Developmental neuroplasticity after cochlear implantation. *Trends Neurosci.* 35, 111–122. doi: 10.1016/j.tins.2011.09.004

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Krause, V., Schnitzler, A., and Pollok, B. (2010). Functional network interactions during sensorimotor synchronization in musicians and non-musicians. *Neuroimage* 52, 245–251. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.03.081

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Kuhl, P. K. (2007). Is speech learning 'gated' by the social brain? *Dev. Sci.* 10, 110–120. doi: 10.1111/j.1467-7687.2007.00572.x

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Kuhl, P. K., Tsao, F.-M., and Liu, H.-M. (2003). Foreign-language experience in infancy: effects of short-term exposure and social interaction on phonetic learning. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 100, 9096–9101. doi: 10.1073/pnas.1532872100

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Lakatos, P., Karmos, G., Mehta, A. D., Ulbert, I., and Schroeder, C. E. (2008). Entrainment of neuronal oscillations as a mechanism of attentional selection. *Science* 320, 110–113. doi: 10.1126/science.1154735

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Launay, J., Dean, R. T., and Bailes, F. (2013). Synchronization can influence trust following virtual interaction. *Exp. Psychol.* 60, 53–63. doi: 10.1027/1618-3169/a000173

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Lenroot, R. K., and Giedd, J. N. (2006). Brain development in children and adolescents: insights from anatomical magnetic resonance imaging. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 30, 718–729. doi: 10.1016/j.neubiorev.2006.06.001

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Lepine, J. A., Lepine, M. A., and Jackson, C. L. (2004). Challenge and hindrance stress: relationships with exhaustion, motivation to learn, and learning performance. *J. Appl. Psychol.* 89, 883–891. doi: 10.1037/0021-9010.89.5.883

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Levitin, D. J. (2012). What does it mean to be musical? *Neuron* 73, 633–637. doi: 10.1016/j.neuron.2012.01.017

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Levitin, D. J., Cole, K., Chiles, M., Lai, Z., Lincoln, A., and Bellugi, U. (2004). Characterizing the musical phenotype in individuals with williams syndrome. *Child Neuropsychol.* 10, 223–247. doi: 10.1080/09297040490909288

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Lima, C. F., and Castro, S. L. (2011). Speaking to the trained ear: musical expertise enhances the recognition of emotions in speech prosody. *Emotion* 11, 1021–1031. doi: 10.1037/a0024521

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Lisman, J., and Grace, A. (2005). The hippocampal-VTA loop: controlling the entry of information into long-term memory. *Neuron* 46, 703–713. doi: 10.1016/j.neuron.2005.05.002

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

London, J. (2004). *Hearing in Time: Psychological Aspects of Musical Meter*. Oxford: Oxford University Press. doi: 10.1093/acprof:oso/9780195160819.001.0001

[CrossRef Full Text](#)

Loras, H., Stensdotter, A. K., Ohberg, F., and Sigmundsson, H. (2013). Individual differences in motor timing and its relation to cognitive and fine motor skills. *PLoS ONE* 8:e69353. doi: 10.1371/journal.pone.0069353

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Luo, C., Guo, Z.-W., Lai, Y.-X., Liao, W., Liu, Q., Kendrick, K. M., et al. (2012). Musical training induces functional plasticity in perceptual and motor networks: insights from resting-state FMRI. *PLoS ONE* 7:e36568. doi: 10.1371/journal.pone.0036568

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Marshall, L., Helgadóttir, H., Mölle, M., and Born, J. (2006). Boosting slow oscillations during sleep potentiates memory. *Nature* 444, 610–613. doi: 10.1038/nature05278

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Merrett, D. L., Peretz, I., and Wilson, S. J. (2013). Moderating variables of music training-induced neuroplasticity: a review and discussion. *Front. Psychol.* 4:606. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00606

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Milovanov, R., Huotilainen, M., Valimaki, V., Esquef, P. A., and Tervaniemi, M. (2008). Musical aptitude and second language pronunciation skills in school-aged children: neural and behavioral evidence. *Brain Res.* 1194, 81–89. doi: 10.1016/j.brainres.2007.11.042

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Moore, J. K., and Guan, Y. L. (2001). Cytoarchitectural and axonal maturation in human auditory cortex. *J. Assoc. Res. Otolaryngol.* 2, 297–311. doi: 10.1007/s101620010052

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Moore, J. K., and Linthicum, F. H. Jr. (2007). The human auditory system: a timeline of development. *Int. J. Audiol.* 46, 460–478. doi: 10.1080/14992020701383019

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Moreno, S., Bialystok, E., Barac, R., Schellenberg, E. G., Cepeda, N. J., and Chau, T. (2011). Short-term music training enhances verbal intelligence and executive function. *Psychol. Sci.* 22, 1425–1433. doi: 10.1177/0956797611416999

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Moreno, S., and Bidelman, G. M. (2013). Examining neural plasticity and cognitive benefit through the unique lens of musical training. *Hear. Res.* doi: 10.1016/j.heares.2013.09.012. [Epub ahead of print].

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Moreno, S., Marques, C., Santos, A., Santos, M., Castro, S. L., and Besson, M. (2009). Musical training influences linguistic abilities in 8-year-old children: more evidence for brain plasticity. *Cereb. Cortex* 19, 712–723. doi: 10.1093/cercor/bhn120

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Müller, V., and Lindenberger, U. (2011). Cardiac and respiratory patterns synchronize between persons during choir singing. *PLoS ONE* 6:e24893. doi: 10.1371/journal.pone.0024893

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Munte, T., Altenmüller, E., and Jancke, L. (2002). The musician's brain as a model of neuroplasticity. *Nat. Rev. Neurosci.* 3, 473–478. doi: 10.1038/nrn843

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Murty, V. P., Labar, K. S., Hamilton, D. A., and Adcock, R. A. (2011). Is all motivation good for learning? Dissociable influences of approach and avoidance motivation in declarative memory. *Learn. Mem.* 18, 712–717. doi: 10.1101/lm.023549.111

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Nagy, Z., Westerberg, H., and Klingberg, T. (2004). Maturation of white matter is associated with the development of cognitive functions during childhood. *J. Cogn. Neurosci.* 16, 1227–1233. doi: 10.1162/0898929041920441

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Nakahara, H., Furuya, S., Masuko, T., Francis, P. R., and Kinoshita, H. (2011). Performing music can induce greater modulation of emotion-related psychophysiological responses than listening to music. *Int. J. Psychophysiol.* 81, 152–158. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2011.06.003

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Ngo, H. V., Martinetz, T., Born, J., and Molle, M. (2013). Auditory closed-loop stimulation of the sleep slow oscillation enhances memory. *Neuron* 78, 545–553. doi: 10.1016/j.neuron.2013.03.006

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Nobre, A., Correa, A., and Coull, J. (2007). The hazards of time. *Curr. Opin. Neurobiol.* 17, 465–470. doi: 10.1016/j.conb.2007.07.006

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)



Norton, A., Winner, E., Cronin, K., Overy, K., Lee, D. J., and Schlaug, G. (2005). Are there pre-existing neural, cognitive, or motoric markers for musical ability? *Brain Cogn.* 59, 124–134. doi: 10.1016/j.bandc.2005.05.009

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Nozaradan, S., Peretz, I., Missal, M., and Mouraux, A. (2011). Tagging the neuronal entrainment to beat and meter. *J. Neurosci.* 31, 10234–10240. doi: 10.1523/JNEUROSCI.0411-11.2011

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Oechslin, M. S., Descloux, C., Croquelois, A., Chanal, J., Van De Ville, D., Lazeyras, F., et al. (2013). Hippocampal volume predicts fluid intelligence in musically trained people. *Hippocampus* 23, 552–558. doi: 10.1002/hipo.22120

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Overy, K., and Molnar-Szakacs, I. (2009). Being together in time: musical experience and the mirror neuron system. *Music Percept.* 26, 489–504. doi: 10.1525/mp.2009.26.5.489

[CrossRef Full Text](#)

Pacchetti, C., Mancini, F., Aglieri, R., Fundaro, C., Martignoni, E., and Nappi, G. (2000). Active music therapy in Parkinson's disease: an integrative method for motor and emotional rehabilitation. *Psychosom. Med.* 62, 386–393.

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#)

Parbery-Clark, A., Skoe, E., Lam, C., and Kraus, N. (2009). Musician enhancement for speech-in-noise. *Ear Hear.* 30, 653–661. doi: 10.1097/AUD.0b013e3181b412e9

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Parbery-Clark, A., Strait, D. L., and Kraus, N. (2011). Context-dependent encoding in the auditory brainstem subserves enhanced speech-in-noise perception in musicians. *Neuropsychologia* 49, 3338–3345. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2011.08.007

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Patel, A. (2008). *Music, Language, and the Brain*. New York, NY: Oxford University Press.

Patel, A. D. (2011). Why would musical training benefit the neural encoding of speech? The OPERA Hypothesis. *Front. Psychol.* 2:142. doi: 10.3389/fpsyg.2011.00142

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Patel, A. D. (2013). Can nonlinguistic musical training change the way the brain processes speech? The expanded OPERA hypothesis. *Hear. Res.* doi: 10.1016/j.heares.2013.08.011. [Epub ahead of print].

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Patel, A. D., and Iversen, J. R. (2007). The linguistic benefits of musical abilities. *Trends Cogn. Sci.* 11, 369–372. doi: 10.1016/j.tics.2007.08.003

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Paus, T., Zijdenbos, A., Worsley, K., Collins, D. L., Blumenthal, J., Giedd, J. N., et al. (1999). Structural maturation of neural pathways in children and adolescents: *in vivo* study. *Science* 283, 1908–1911. doi: 10.1126/science.283.5409.1908

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Penhune, V. B. (2011). Sensitive periods in human development: evidence from musical training. *Cortex* 47, 1126–1137. doi: 10.1016/j.cortex.2011.05.010

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Perani, D., Saccuman, M. C., Scifo, P., Spada, D., Andreolli, G., Rovelli, R., et al. (2010). Functional specializations for music processing in the human newborn brain. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 107, 4758–4763. doi: 10.1073/pnas.0909074107

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Peretz, I., and Zatorre, R. (2005). Brain organization for music processing. *Annu. Rev. Psychol.* 56, 89–114. doi: 10.1146/annurev.psych.56.091103.070225

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Petrides, K. V., Niven, L., and Mouskounti, T. (2006). The trait emotional intelligence of ballet dancers and musicians. *Psicothema* 18(Suppl.), 101–107.

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#)

Pitkala, K., Savikko, N., Poysti, M., Strandberg, T., and Laakkonen, M. L. (2013). Efficacy of physical exercise intervention on mobility and physical functioning in older people with dementia: a systematic review. *Exp. Gerontol.* 48, 85–93. doi: 10.1016/j.exger.2012.08.008

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Rauscher, F. H., Robinson, K. D., and Jens, J. J. (1998). Improved maze learning through early music exposure in rats. *Neurol. Res.* 20, 427–432.

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#)

Rauscher, F. H., Shaw, G. L., and Ky, K. N. (1993). Music and spatial task performance. *Nature* 365, 611. doi: 10.1038/365611a0

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Raven, J. (1976). *Coloured Progressive Matrices. Standard Progressive Matrices. Advanced Progressive Matrices.* Oxford: Oxford Psychologists Press.

Raz, N., and Rodrigue, K. M. (2006). Differential aging of the brain: patterns, cognitive correlates and modifiers. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 30, 730–748. doi: 10.1016/j.neubiorev.2006.07.001

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Repp, B. H. (2005). Sensorimotor synchronization: a review of the tapping literature. *Psychon. Bull. Rev.* 12, 969–992. doi: 10.3758/BF03206433

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Repp, B. H., and Su, Y. H. (2013). Sensorimotor synchronization: a review of recent research (2006–2012). *Psychon. Bull. Rev.* 20, 403–452. doi: 10.3758/s13423-012-0371-2

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Reuben, A., Brickman, A. M., Muraskin, J., Steffener, J., and Stern, Y. (2011). Hippocampal atrophy relates to fluid intelligence decline in the elderly. *J. Int. Neuropsychol. Soc.* 17, 56–61. doi: 10.1017/S135561771000127X

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Rickard, N. S. (2009). Defining the rhythmicity of memory-enhancing acoustic stimuli in the young domestic chick (*Gallus gallus*). *J. Comp. Psychol.* 123, 217–221. doi: 10.1037/a0015117

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Rickard, N. S., Toukhsati, S. R., and Field, S. E. (2005). The effect of music on cognitive performance: insight from neurobiological and animal studies. *Behav. Cogn. Neurosci. Rev.* 4, 235–261. doi: 10.1177/1534582305285869

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Robbins, T. W. (2005). Chemistry of the mind: neurochemical modulation of prefrontal cortical function. *J. Comp. Neurol.* 493, 140–146. doi: 10.1002/cne.20717

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Roden, I., Grube, D., Bongard, S., and Kreutz, G. (2013). Does music training enhance working memory performance? Findings from a quasi-experimental longitudinal study. *Psychol. Music.* doi: 10.1177/0305735612471239

[CrossRef Full Text](#)

Rodriguez-Fornells, A., Rojo, N., Amengual, J. L., Ripolles, P., Altenmuller, E., and Munte, T. F. (2012). The involvement of audio-motor coupling in the music-supported therapy applied to stroke patients. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1252, 282–293. doi: 10.1111/j.1749-6632.2011.06425.x

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Rosenblum, M., and Pikovsky, A. (2003). Synchronization: from pendulum clocks to chaotic lasers and chemical oscillators. *Contemp. Phys.* 44, 401–416. doi: 10.1080/00107510310001603129

[CrossRef Full Text](#)

Rossato, J., Bevilaqua, L., Izquierdo, I., Medina, J., and Cammarota, M. (2009). Dopamine controls persistence of long-term memory storage. *Science* 325, 1017–1020. doi: 10.1126/science.1172545

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Salimpoor, V. N., Benovoy, M., Larcher, K., Dagher, A., and Zatorre, R. J. (2011). Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Nat. Neurosci.* 14, 257–262. doi: 10.1038/nn.2726

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Salimpoor, V. N., van den Bosch, I., Kovacevic, N., McIntosh, A. R., Dagher, A., and Zatorre, R. J. (2013). Interactions between the nucleus accumbens and auditory cortices predict music reward value. *Science* 340, 216–219. doi: 10.1126/science.1231059

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Schabus, M., Heib, D. P., Lechinger, J., Griessenberger, H., Klimesch, W., Pawlizki, A., et al. (2013). Enhancing sleep quality and memory in insomnia using instrumental sensorimotor rhythm conditioning. *Biol. Psychol.* doi: 10.1016/j.biopsycho.2013.02.020. [Epub ahead of print].

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Schellenberg, E. (2006). Long-term positive associations between music lessons and IQ. *J. Educ. Psychol.* 98, 457–468. doi: 10.1037/0022-0663.98.2.457

[CrossRef Full Text](#)

Schellenberg, E. G. (2004). Music lessons enhance IQ. *Psychol. Sci.* 15, 511–514. doi: 10.1111/j.0956-7976.2004.00711.x

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Schellenberg, E. G. (2011a). Examining the association between music lessons and intelligence. *Br. J. Psychol.* 102, 283–302. doi: 10.1111/j.2044-8295.2010.02000.x

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Schellenberg, E. G. (2011b). Music lessons, emotional intelligence, and IQ. *Music Percept.* 29, 185–194. doi: 10.1525/mp.2011.29.2.185

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Schellenberg, E. G., and Mankarious, M. (2012). Music training and emotion comprehension in childhood. *Emotion* 12, 887–891. doi: 10.1037/a0027971

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Schlaug, G., Norton, A., Overy, K., and Winner, E. (2005). Effects of music training on the child's brain and cognitive development. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1060, 219–230. doi: 10.1196/annals.1360.015

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Schott, B. H., Seidenbecher, C. I., Fenker, D. B., Lauer, C. J., Bunzeck, N., Bernstein, H.-G., et al. (2006). The dopaminergic midbrain participates in human episodic memory formation: evidence from genetic imaging. *J. Neurosci.* 26, 1407–1417. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3463-05.2006

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Schreckenber, G. M., and Bird, H. H. (1987). Neural plasticity of Mus musculus in response to disharmonic sound. *Bull. N.J. Acad. Sci.* 32, 77–86.

Schwabe, L., and Wolf, O. T. (2010). Learning under stress impairs memory formation. *Neurobiol. Learn. Mem.* 93, 183–188. doi: 10.1016/j.nlm.2009.09.009

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Schwabe, L., Wolf, O. T., and Oitzl, M. S. (2010). Memory formation under stress: quantity and quality. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 34, 584–591. doi: 10.1016/j.neubiorev.2009.11.015

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Schwartz, M., and Kotz, S. A. (2013). A dual-pathway neural architecture for specific temporal prediction. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 37, 2587–2596. doi: 10.1016/j.neubiorev.2013.08.005

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Sheppard, L. D., and Vernon, P. A. (2008). Intelligence and speed of information-processing: a review of 50 years of research. *Pers. Individ. Dif.* 44, 535–551. doi: 10.1016/j.paid.2007.09.015

[CrossRef Full Text](#)

Skoe, E., and Kraus, N. (2013). Musical training heightens auditory brainstem function during sensitive periods in development. *Front. Psychol.* 4:622. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00622

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Slater, J., Tierney, A., and Kraus, N. (2013). At-risk elementary school children with one year of classroom music instruction are better at keeping a beat. *PLoS ONE* 8:e77250. doi: 10.1371/journal.pone.0077250

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Slevc, L. R., and Miyake, A. (2006). Individual differences in second-language proficiency: does musical ability matter? *Psychol. Sci.* 17, 675–681. doi: 10.1111/j.1467-9280.2006.01765.x

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Sloboda, J. (1993). Musical ability. *Ciba Found. Symp.* 178, 106–118.

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#)

Sluming, V., Barrick, T., Howard, M., Cezayirli, E., Mayes, A., and Roberts, N. (2002). Voxel-based morphometry reveals increased gray matter density in Broca's area in male symphony orchestra musicians. *Neuroimage* 17, 1613–1622. doi: 10.1006/nimg.2002.1288

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Southgate, D. E., and Roscigno, V. J. (2009). The impact of music on childhood and adolescent achievement\*. *Soc. Sci. Q.* 90, 4–21. doi: 10.1111/j.1540-6237.2009.00598.x

[CrossRef Full Text](#)

Sowell, E. R., Thompson, P. M., Leonard, C. M., Welcome, S. E., Kan, E., and Toga, A. W. (2004). Longitudinal mapping of cortical thickness and brain growth in normal children. *J. Neurosci.* 24, 8223–8231. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1798-04.2004

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Stoeber, J., and Eismann, U. (2007). Perfectionism in young musicians: relations with motivation, effort, achievement, and distress. *Pers. Individ. Dif.* 43, 2182–2192. doi: 10.1016/j.paid.2007.06.036

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Strait, D., and Kraus, N. (2011). Playing music for a smarter ear: cognitive, perceptual and neurobiological evidence. *Music Percept.* 29:133. doi: 10.1525/mp.2011.29.2.133

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Strait, D. L., and Kraus, N. (2013). Biological impact of auditory expertise across the life span: musicians as a model of auditory learning. *Hear. Res.* doi: 10.1016/j.heares.2013.08.004. [Epub ahead of print].

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Strait, D. L., Kraus, N., Skoe, E., and Ashley, R. (2009). Musical experience and neural efficiency: effects of training on subcortical processing of vocal expressions of emotion. *Eur. J. Neurosci.* 29, 661–668. doi: 10.1111/j.1460-9568.2009.06617.x

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Strait, D. L., O'Connell, S., Parbery-Clark, A., and Kraus, N. (2013). Musicians' enhanced neural differentiation of speech sounds arises early in life: developmental evidence from ages 3 to 30. *Cereb. Cortex.* doi: 10.1093/cercor/bht103. [Epub ahead of print].

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Strait, D. L., Parbery-Clark, A., Hittner, E., and Kraus, N. (2012). Musical training during early childhood enhances the neural encoding of speech in noise. *Brain Lang.* 123, 191–201. doi: 10.1016/j.bandl.2012.09.001

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Studer, R., Gomez, P., Hildebrandt, H., Arial, M., and Danuser, B. (2011). Stage fright: its experience as a problem and coping with it. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 84, 761–771. doi: 10.1007/s00420-010-0608-1

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Thaut, M. H., and Abiru, M. (2010). Rhythmic auditory stimulation in rehabilitation of movement disorders: a review of current research. *Music Percept.* 27, 263–269. doi: 10.1525/mp.2010.27.4.263

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Thaut, M. H., McIntosh, G. C., Rice, R. R., Miller, R. A., Rathbun, J., and Brault, J. M. (1996). Rhythmic auditory stimulation in gait training for Parkinson's disease patients. *Mov. Disord.* 11, 193–200. doi: 10.1002/mds.870110213

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Theusch, E., Basu, A., and Gitschier, J. (2009). Genome-wide study of families with absolute pitch reveals linkage to 8q24.21 and locus heterogeneity. *Am. J. Hum. Genet.* 85, 112–119. doi: 10.1016/j.ajhg.2009.06.010

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Thut, G., and Miniussi, C. (2009). New insights into rhythmic brain activity from TMS–EEG studies. *Trends Cogn. Sci.* 13, 182–189. doi: 10.1016/j.tics.2009.01.004

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Thut, G., Schyns, P. G., and Gross, J. (2011). Entrainment of perceptually relevant brain oscillations by non-invasive rhythmic stimulation of the human brain. *Front. Psychol.* 2:170. doi: 10.3389/fpsyg.2011.00170

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Tierney, A. T., and Kraus, N. (2013). The ability to tap to a beat relates to cognitive, linguistic, and perceptual skills. *Brain Lang.* 124, 225–231. doi: 10.1016/j.bandl.2012.12.014

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Tognoli, E., Lagarde, J., Deguzman, G. C., and Kelso, J. A. S. (2007). The phi complex as a neuromarker of human social coordination. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 104, 8190–8195. doi: 10.1073/pnas.0611453104

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Toukhsati, S. R., and Rickard, N. S. (2001). Exposure to a rhythmic auditory stimulus facilitates memory formation for the passive avoidance task in the day-old chick. *J. Comp. Psychol.* 115, 132–139. doi: 10.1037/0735-7036.115.2.132

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Trainor, L. J., Shahin, A. J., and Roberts, L. E. (2009). Understanding the benefits of musical training. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1169, 133–142. doi: 10.1111/j.1749-6632.2009.04589.x

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Trehub, S. E., and Hannon, E. E. (2006). Infant music perception: domain-general or domain-specific mechanisms? *Cognition* 100, 73–99. doi: 10.1016/j.cognition.2005.11.006

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Trimmer, C. G., and Cuddy, L. L. (2008). Emotional intelligence, not music training, predicts recognition of emotional speech prosody. *Emotion* 8, 838–849. doi: 10.1037/a0014080

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Trombetti, A., Hars, M., Herrmann, F. R., Kressig, R. W., Ferrari, S., and Rizzoli, R. (2011). Effect of music-based multitask training on gait, balance, and fall risk in elderly people: a randomized controlled trial. *Arch. Intern. Med.* 171, 525–533. doi: 10.1001/archinternmed.2010.446

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Trost, W., Ethofer, T., Zentner, M., and Vuilleumier, P. (2012). Mapping aesthetic musical emotions in the brain. *Cereb. Cortex* 22, 2769–2783. doi: 10.1093/cercor/bhr353

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Trost, W., and Vuilleumier, P. (2013). “Rhythmic entrainment as a mechanism for emotion induction by music: a neurophysiological perspective,” in *The Emotional Power of Music: Multidisciplinary Perspectives on Musical Arousal, Expression, and Social Control*, eds T. Cochrane, B. Fantini, and K. R. Scherer (New York, NY: Oxford University Press), 213–225. doi: 10.1093/acprof:oso/9780199654888.003.0016

[CrossRef Full Text](#)

Tzounopoulos, T., and Kraus, N. (2009). Learning to encode timing: mechanisms of plasticity in the auditory brainstem. *Neuron* 62, 463–469. doi: 10.1016/j.neuron.2009.05.002

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Ukkola, L. T., Onkamo, P., Raijas, P., Karma, K., and Ja, I. (2009). Musical aptitude is associated with AVPR1A-haplotypes. *PLoS One*. 4:e5534. doi: 10.1371/journal.pone.0005534

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Valdesolo, P., and Desteno, D. (2011). Synchrony and the social tuning of compassion. *Emotion* 11, 262–266. doi: 10.1037/a0021302

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Valdesolo, P., Ouyang, J., and Desteno, D. (2010). The rhythm of joint action: synchrony promotes cooperative ability. *J. Exp. Soc. Psychol.* 46, 693–695. doi: 10.1016/j.jesp.2010.03.004

[CrossRef Full Text](#)

Vaughn, K. (2000). Music and mathematics: modest support for the oft-claimed relationship. *J. Aesthet. Educ.* 34, 149–166. doi: 10.2307/3333641

[CrossRef Full Text](#)

Veselka, L., Schermer, J. A., Petrides, K., and Vernon, P. A. (2009). Evidence for a heritable general factor of personality in two studies. *Twin Res. Hum. Genet.* 12, 254–260. doi: 10.1375/twin.12.3.254

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Wächter, T., Lungu, O. V., Liu, T., Willingham, D. T., and Ashe, J. (2009). Differential effect of reward and punishment on procedural learning. *J. Neurosci.* 29, 436–443. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4132-08.2009

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Wan, C. Y., and Schlaug, G. (2010). Music making as a tool for promoting brain plasticity across the life span. *Neuroscientist* 16, 566–577. doi: 10.1177/1073858410377805

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Weber-Fox, C., and Neville, H. J. (2001). Sensitive periods differentiate processing of open- and closed-class words: an ERP study of bilinguals. *J. Speech Lang. Hear. Res.* 44, 1338–1353. doi: 10.1044/1092-4388(2001/104)

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Weinberger, N. M. (2004). Specific long-term memory traces in primary auditory cortex. *Nat. Rev. Neurosci.* 5, 279–290. doi: 10.1038/nrn1366

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Wiltermuth, S. S., and Heath, C. (2009). Synchrony and cooperation. *Psychol. Sci.* 20, 1–5. doi: 10.1111/j.1467-9280.2008.02253.x

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Wimber, M., Schott, B. H., Wendler, F., Seidenbecher, C. I., Behnisch, G., Macharadze, T., et al. (2011). Prefrontal dopamine and the dynamic control of human long-term memory. *Transl. Psychiatry* 1:e15. doi: 10.1038/tp.2011.15

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Wong, P. C. M., Skoe, E., Russo, N. M., Dees, T., and Kraus, N. (2007). Musical experience shapes human brainstem encoding of linguistic pitch patterns. *Nat. Neurosci.* 10, 420–422. doi: 10.1038/nn1872

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Young, L. N., Cordes, S., and Winner, E. (2013). Arts involvement predicts academic achievement only when the child has a musical instrument. *Educ. Psychol.* 1–13. doi: 10.1080/01443410.2013.785477

[CrossRef Full Text](#)

Zatorre, R. J., Chen, J. L., and Penhune, V. B. (2007). When the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production. *Nat. Rev. Neurosci.* 8, 547–558. doi: 10.1038/nrn2152

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Zatorre, R. J., and Salimpoor, V. N. (2013). From perception to pleasure: music and its neural substrates. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 110(Suppl.), 10430–10437. doi: 10.1073/pnas.1301228110

[Pubmed Abstract](#) | [Pubmed Full Text](#) | [CrossRef Full Text](#)

Keywords: musical training, brain plasticity, developmental neuroscience, music education, rhythmic entrainment

Citation: Miendlarzewska EA and Trost WJ (2014) How musical training affects cognitive development: rhythm, reward and other modulating variables. *Front. Neurosci.* 7:279. doi: 10.3389/fnins.2013.00279

Received: 20 July 2013; Accepted: 31 December 2013;  
Published online: 20 January 2014.

Edited by:

[Jonathan B. Fritz](#), University of Maryland, USA



Reviewed by:

[Kristina Simonyan](#), Mount Sinai School of Medicine, USA

[Daniela Sammler](#), Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences, Germany

[Dana L. Strait](#), Northwestern University, USA

Copyright © 2014 Miendlarzewska and Trost. This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](#). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

\*Correspondence: Ewa A. Miendlarzewska, Department of Fundamental Neurosciences, University of Geneva Medical Centre (CMU), 1, rue Michel-Servet, 1211 Geneva 4, Switzerland e-mail: [ewa.miendlarzewska@unige.ch](mailto:ewa.miendlarzewska@unige.ch); Wiebke J. Trost, Swiss Centre of Affective Sciences (CISA), University of Geneva, 9, Chemin des Mines, 1202 Geneva, Switzerland e-mail: [johanna.trost@unige.ch](mailto:johanna.trost@unige.ch)