ISSN: 2710-8759/ EISSN: 2992-1376 | 2025/07/15 638-620 ،(02) 06 | مجلة أطراس

علاقة معالجة الدّماغ للايقاع الموسيقي بالتنشيط التنفيذي واللغوي (دراسة عصبية–معرفية)

A Neurocognitive Study to the Relationship between Brain Processing of Musical Rhythm and Executive-Linguistic Activation

وهيبة فتيحة [1]

[1] عبد الحميد مهري–قسنطينة، الجزائر

تاريخ الاستلام : 2024/05/07 ؛ **تاريخ القبول** : 2025/05/31 ؛ **تاريخ النشر** : 2025/07/15

ملخص

هدفت هذه الورقة الباحثة إلى الكشْف عن طبيعة العلاقات البِنْيَويّة والوظِيفيَّة بين معالجة الإيقاع الموسيقيّ ومعالجة الوظائِف التّنْفِيذِيَّة واللُّغَة، من خلال تسليط الضَّوء على مجالٍ عصبيٍّ معرفيٍّ يدرس تنشيطَ بُنَى قِشرية محدَّدة في الدِّماغ، ويقيس أثر هذا التّنْشيط عبْر استغلال طريقة معالجته للإيقاع الموسيقي ولتوضيح هذه الترابطات الأساسِيَّة، استُخدِم المنهج الوصفي التحليلي لنتائج التصويرات الطبوغرافية الوظِيفيَّة بواسطة الرنين المغناطيسي الوظيفي. وقد أفضت جميع الدراسات المعتمدة في هذه الورقة إلى وجود علاقة تزامُنٍ وتراتُبٍ بين تغيُّرات إيقاع الدِّماغ، وأنّ هذه التغيُّرات الدَّوْرِيَّة خاضِعَة للتدَخّلات التحفيزية الخارجيّة، ولتجلية دور الإيقاع الموسيقي في الدِّماغ يتم التّركيز على المُحدِّدَيْن الأساسيَّيْن للمعالجةّ : الزمن والإيقاع الموسيقي. تشترك مجموعةٌ معتبرةٌ من البنى القشرية وتحت القشرية في المعالجات الإيقاعية الموسيقية (الباحات الجبهية، الباحات الصدغية العليا، تحت المهاد، الأنوية القاعدية، المخيخ، النواة فوق المخيخية). ويحدث هذا التفاعل ضمن بنى أساسية وأخرى ثانوية، حيث تؤدي الوظيفة اللغوية دورًا وسيطًا في هذه المعالجة المعقَّدة، ولا يمكن فصلها عن السيرورات المَعْرِفِيَّة المنشَّطة أثناء المعالجة الإيقاعية للتنغيمات الموسيقية. وهذا الجانبُ بالذات تسعى الورقة الباحِثة إلى سَدِّ فجوتِه المَعْرِفِيَّة من خلال الربط بين أثر التوظيف التنفيذي واللُّغَة على المعالجة الإيقاعية الموسيقية. أسفرت الدراسة عن إثبات وجود تكاملٍ وظيفيٍّ بين الوظائف التّنْفِيذِيَّة واللُّغَوِيَّة، والذي يتعزَّز عبر المعالجات الإيقاعية الموسيقية. كما أنّ تداخُلَ المعالجات الإيقاعية مع أنشطة الوظائف التّنْفِيذِيَّة يدفع إلى ضرورة التفكير في تصميم برامج تأهيلية للعجز اللغوي أوالتَّدهور المعرفي المرتبط بالتقدُّم في السن.

كلمات مفتاحية: الإيقاع الموسيقي، الوظائف التّنْفِيذِيَّة، اللُّغَة اللفظية، التزامن، التأهيل، التدهور المعرفي.

Abstract

This paper investigates the structural and functional relationships linking musical rhythm processing with executive functions and language. Focusing on a neurocognitive perspective, it examines how specific cortical structures are activated and how this activation, influenced by the brain's processing of musical rhythm, impacts executive and linguistic functions. Using a descriptive-analytical approach to functional magnetic resonance imaging (fMRI) topography results, we synthesized findings from relevant studies. These studies consistently indicate a synchronized and hierarchical relationship between brain rhythm changes, revealing that these oscillatory patterns are susceptible to external stimulatory interventions. To clarify the role of musical rhythm, we focus on the core determinants of neuropsychological processing: time and rhythm itself. A significant number of cortical and subcortical structures are implicated in musical rhythm processing, including the frontal lobes, superior temporal lobes, hypothalamus, basal nuclei, cerebellum, and suprachiasmatic nucleus, operating within primary and secondary networks. Language function plays an intermediary role in this complex processing and is intrinsically linked to the cognitive processes activated during rhythmic processing of musical tones. This paper addresses a research gap by exploring the combined influence of executive functioning and language on musical rhythm processing. The study demonstrates a functional integration between executive and linguistic functions, enhanced by rhythmic musical processing. Furthermore, the overlap between rhythmic processing and executive function activities highlights the potential for designing novel rehabilitation strategies for language deficits or cognitive decline associated with aging.

Keywords: Cognitive decline, executive functions, musical rhythm, rehabilitation, synchronization, verbal language

البريد الإلكتروني: [1] fellawahi@gmail.com

DOI: https://doi.org/10.70091/Atras/vol06no02.41

مقدمة:

Atras Journal/ 2025, published by the University of Saida, Dr. Moulay Tahar, Algeria
This is an Open Access Article under The CC BY-NC 4.0

لقد تناول الباحثون العديد من المواضيع الّتي أسهمت بقسط كبير في كشف الغطاء عن عدد لا مُتناه من أنشطة التَّوْظيفات العَصَبِيّة الّتي لا يمكن للإنسان أن يقوم بأيّ سلوكٍ دون تدخُّلها، ولقد تمّ إقحام كلّ المجالات الّتي من شأنها أن ترفع من جودة ووظيفة الجهاز العَصَبِيّ، وذلك بعد اثباتات تجريبية أنّ الخَبَرات المكثّفة والطويلة أيّا كان نوعها يمكن تحويلها إلى احْتياطيٍّ معرفيٍّ توظيفيّ حالما إذا تمّ استثمارها بنسبة معتبرة من التدريب ,(Stern, 2009; Chan etal . ,2018)

لقد كانت الممارسة الموسيقِيَّة نموذجًا لدراسة المرونة العَصَبِيّة في علم الأعصاب المعرفي على مدار العشرين عامًا الماضية (Altenmüller, 2008؛ Schlaug, 2015). ومن المُسَلّم به أنّ الخبرة الموسيقِيَّة تساهم بقسط وفير في عمليات إعادة تنظيم وظائف الدِّماغ، وذلك عبر تغيُّرات في البُنى التشريحيّة على مستوى المناطق الّتي تَنْشَطُ أثناء عمليّة التعلُّم الموسيقي ، مثل المناطق الحركيَّة (Wan & Schlaug, 2010)، وباحات الإدراك السّمعي (Groussard et al Fauvel 2010, 2014; et al., 2013)., ومناطق الذاكرة Alain, 2015; Zendel et al., (Bidelman et al., 2013) (2019)، ويظلّ الاحتياطي المعرفي هذا رهينًا للتكيّف التعويضي الّذي يتحكّم في سلوك الأفراد إلى جانب تباين مستويات التعليم ونَمَط الحياة لديهم، ممّا ينتج عنه إلزامًا تباينًا في التوظيف المعرفي العام(Kalpouzos et al., 2008) .

من المعروف لدى المختصّين أن ّالموسيقى تتطلّب التّفاعل بين الوظائف المَعْرِفِيَّة الأساسِيَّة والعديد من الاستراتيجيات الحِسِيَّة المَعْرِفِيَّة والّتي تشمل الجوانب السّمعيّة، اللّفظِيَّة، البصريّة والحركيَّة إضافة إلى التعلّم المنتظم لمقطوعات جديدة(Brown et al., 2015) ، ولقد عرفت علاقة الموسيقى بالتوظيف المعرفي الكثير من التجارب المُخْتبرية سواء تعلّق الأمر بالعَيّنات السّليمة أو بالعَيّنات الّتي كانت تعاني اضطرابا محدّدا والّتي شملت شرائح عمريّة مختلفة، الشيء الّذي أدّى إلى ظهور مزايا إدراكيَّة خاصّة للكلّام المنطوق (اللغة الشفهية)، وكلّ ذلك بسبب ارتباط الموسيقى بالتعزيزات المَعْرِفِيَّة الّتي تساعد الدِّماغ على حلّ المشكلّات خاصّة لدى الأفراد الأكثر استشعارا للتغيّرات في المجال السمعي وتنقّلات الطبقات الصوتيّة (Popham et al., 2018)فَعَلَى غرار بقيّة الوظائف المَعْرِفِيَّة أثبت الباحثون أنّ الموسيقى مرتبطة بمعدلات الذّكاء والامتداد الرّقمي: الذِّهن والانتباه (Schellenberg, 2005)، كما أنّ هناك علاقات أكيدة مابين الإيقاعات الموسيقِيَّة والإدراك تظهر خلال التَّوْظيفات المرتبطة بالذّاكِرة العامِلة والإنتباه (Strait & Kraus, 2011)، وبناءً على هذه الارتباطات التوظيفِيَّة المُؤَكَّدة مُخْتبَرِيا من طرف الباحثين، اتّفق الباحثون على أنّ للموسيقى دور أساسيّ في التّرميز العَصَبِيّ للكلّام والّذي ظهر على مستويات البِنْيات القِشْرِيَّة وحتّى جِذع الدماغ(Bidelman and Mankel (2019 .

وبما أنّ الإستماع إلى الإيقاع الموسيقى يعتمد على القُدُرات المَعْرِفِيَّة العامّة (مثل الذاكرة والانتباه) والّتي تكون مرتبطة بوظيفة الكلام عموما، لذلك ركزت الدّراسات السّابقة على تأثيرات الخبرة الموسيقِيَّة طويلة الأمد ومعالجة الكلام من خلال مهام بسيطة (Madse et al., 2019)، وذلك من مسلَّمَة أنّ الموسيقيين يختلفون عن غير الموسيقيين في مجالات المعالجات الذهنية (Bugos et al., 2007) ، والتوظيف اللُّغَوي (Lerousseau et al., 2020).

تلعب الوظائف التّنْفيذية دور الجهاز المتحكّم و المسيَّر لبقيّة الوظائف المَعْرِفِيَّة الأساسِيَّة، ويؤدي اضطرابها إلى ظهور خلل وظيفيّ يشمل أحيانا أغْلَب الوظائف الأخرى، ولقد ارتبطت دراستها(الموسيقى) في العديد من الأبحاث العلميّة بالآداء الحركيّ والذاكرة اللفظيّة(McInnes et al., 2003) ، كما تشير بعض الدّراسات إلى وجود علاقة ما بين الخلل الوظيفي

التّنْفيذي والإدراك الموسيقي خاصّة لدى عسيريّ القراءة (Overy, 2003)، واستدلوا على ذلك بارتفاع وانخفاض آداء عَيّنات لمقطوعات موسيقيّة تم انتقاؤها وفق متطلّبات الأبحاث العلميّة، هذه الجملة من النّتائج المُخْتَبَرِيَّة دفعتني إلى التَّقَصِّي والبحث عن حقيقة وآليات هذه العلاقة (إيقاع موسيقي– توظيف معرفي) من خلال اللّغة والوظائف التّنْفيذية إذ أنّ الجَمْعَ بَيْن الوظيفَتَيْن في مجال الإيقاع الموسيقي لايزال فجوة بحثية بالرّغم من تكامل وتلازم آلياتهما الفيزيولوجيَّة وحتّى البِنْيويَّة، الأمر الّذي يستدعي التَّقَصِّي وسبر مجال هذه العلاقة في إطار التّوظيف اللُّغَوي التّنْفيذي، ومحاولة تفسيرها، لهذا السبب جاءت ورقتنا الباحِثة هاته كمحاولة لتسليط الضَّوء على أهمّ جوانب هذه العلاقة التّوظيفِيَّة الثنائيّة (الوظائف التّنْفيذية واللغة) من زاوية ارتباط نشاطِها الوظيفي بالإيقاع الموسيقي ، حاولْنا الإجابة على جملة الأسئلة التالية :

- ما هو إيقاع الدِّماغ وما علاقته بالإيقاع الموسيقي؟
- هل يمكن أن تُغَيِّر الموسيقى في البِنْيات العَصَبِيّة وظيفيًّا؟ وكيف يتمّ ذلك؟
- هل هناك علاقة ما بين معالجات الإيقاع الموسيقي والمعالجات اللُّغَوية؟ وما طبيعتها؟
- ماهي طبيعة العلاقة ما بين الوظائف التّنْفيذية والموسيقى من خلال اللّغة؟
- وهل يمكن استثمار النَّشاط الإيقاعي الموسيقي في تأهيل التّوظيف العَصَبِيّ المعرفيّ لدى الفئة المُسِنّة؟

الجانب النظري :

تحديد المصطلحات :

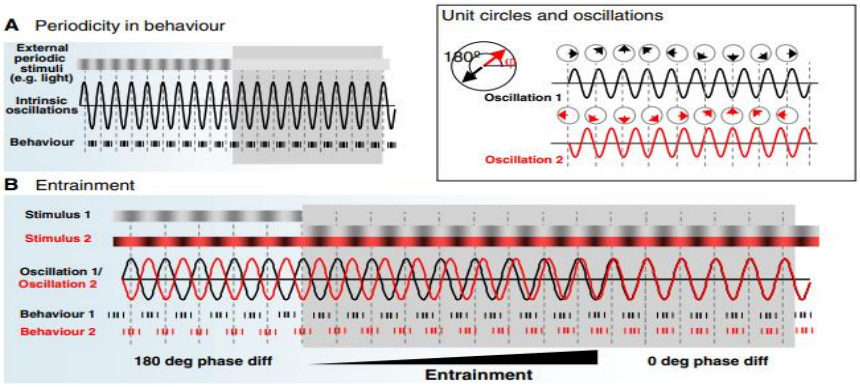
- الإيقاع الموسيقي: الإيقاع الموسيقى هو تنظيم الوحدات الصوتيّة بطريقة محدّدة وفي وقت مناسب، ويشمل جميع العناصر الّتي تجعل من المُمْكِن تحديد البِنْيَة الزّمنيَّة (التّباعد، المدّة، الأصوات)، وينطوي إدراك الإيقاع الموسيقي على شكلّ من أشكال تكرار البِنْيَة.
- التكامُل التّنْفيذي اللُّغَوي: تزامن المعالجات التّنْفيذية والمعالجات اللُّغَوية على مستوى البِنْيات القِشْرِيَّة وتحت القِشْرِيَّة
- المرونة العَصَبِيّة: قدرة الجهاز العَصَبِيّ المستمرَّة والدّائمة على إنشاء تَرابُطات عصبيّة بين مختلف الباحات العَصَبِيّة نتيجة سُلوكِيّات داخِليَّة وخارجيّة.
- التكيّف التّعويضي: قدرة الجهاز العَصَبِيّ على تبني استراتيجيات وظيفِيَّة تعويضِيَّة لوظائف أساسِيَّة مُضْطَرِبَة من خلال تدريبه على برامج تأهيلية.

إيقاع الدِّماغ والموسيقى وعلاقته بالإيقاع الموسيقي:

منذ أن لاحظ HansBerger لأوّل مرَّة الإختلافات الإيقاعيَّة في مخطّط كهربائية الدِّماغ البشرّي حواليْ عام 1929، ظل الباحثون يتساءلون ما إذا كانت ذبذبات الدِّماغ هاته تلعب دورًا سببيًا في السلوك البشري؛ وعلى مرّ السنين تراكمت العديد من الدّراسات الّتي كانت مدعومة بتقنيات تسجيل وتحليل مُحَسَّنَة باستمرار، والّتي أثبتت أنّ تحوّلات محدّدة في سِعات ذبذبات الدِّماغ تتتسبّب باستمرار في مهام مَعْرِفِيَّة محددة (Wang,2010) ومع ذلك نادرا ما كانت هذه الأدلّة تتخطّى حدود الإرتباط لإثبات وجود علاقة سببيّة واضحة بين تذبذبات الدِّماغ والسلوك أم أنها مجرّد ظواهر لعمليات محدّدة، ولذلك عَكَفَ الباحثون عن التَّقَصِّي والبحث في كلّ المجالات حتّى في العمليّات الحسابِيّة الّتي تتضمّنُها هذه التَّغَيُّرات الكهربائيّة

القِشْرِيَّة، وهذا في محاولة منهم لفهم التَّغَيُّرات الصّغيرة في نشاط الخلايا العَصَبِيّة الّتي يمكن تسجيلها لدى البشر على مستوى مجموعة الخلايا العَصَبِيّة من خلال تخطيط الدِّماغ الكهربائي، فمنذ ذلك الحين والنَّشاط العَصَبِيّ التذبذبي للدماغ في نمو مستمر، ولكن مع كلّ هذا فالإيقاعات الأساسِيَّة ظلّت غامضة الفهم بالنسبة للباحثين لحِقْبَة زمنِيَّة مُعتبرة ومع بداية ظهور التَّحْفيز غير الجراحي للدِّماغ عن طريق المُدْخلات الحِسِيَّة عبر الجُمجُميّة لرصْد النّتائج السلوكيّة، والّتي أدّت إلى تَقَلُّبات سريعة ودوريّة في الآداء السّلوكي المتزامن مع التَّغَيُّرات التوظيفِيَّة الدِّماغية الأساسِيَّة،(wang, 2010) الأمر الّذي يجعل مناقشة وجود علاقة سببيّة بين تَذَبْذُبات الدِّماغ والسّلوك ضرورة بحثيّة مُلِحَّة ممّا مهّد لإجراء اختبارات جديدة للنّماذج القائمة منذ فترة طويلة حول وظائف تذبذبات الدِّماغ.

لم يقتصر الأمر على التدخّل عَبْر القِشري فقط، بل تعدّاه إلى أبعد من هذا، إذ استَخْدَمَ الباحثون طُرُق **التَّحْفيز العميق** للدّماغ Hammond et at. (2007) ،إضافة إلى التَّدَخُّلات الدوائية(2009) Deco and Thiele ، فمن المعروف لدى المجتمع العلمي تواجد السلوك التذبذبي في كلّ الأنظمة البليولوجيَّة، فَعَلَى مستوى الدِّماغ وُصِفَتْ مجموعة كبيرة ومتنوّعة من الإيقاعات الّتي تختلف في تواترها وأصلها وتفاعلها مع التَّغَيُّرات المرتبطة بالمُدْخلات الحِسِيَّة ومتطلبات المَهام Buzsaki (2006) فَعَلَى الرّغم من هذه الإختلافات فإنّ جميع هذه الإيقاعات تتمتّع بعدد من الخصائص المشتركة فيما بينها وبين الذبذبات البليولوجيَّة الأخرى، فإيقاعات السّاعة البليولوجيَّة مثلا تتميّز بإعادة التكرار الدوري لأنماط متشابهة بمعدل زمني ثابت نسبيًا ، حيث يتكرر التعبير عن العلامات البليولوجيَّة والسلوك،(2005) Foster and Kreitzman كلّ وحدة زمنِيَّة محدّدة، فَعَلَى سبيل المثال كلّ 24 ساعة تقريبًا تتكرر دورة النوم و الاستيقاظ ، وهذه الدورة مدعومة بساعة يومية داخِلِيَّة وهو ما يطلق الباحثون عليه اصطلاح (الساعة البليولوجيَّة) والّتي بفضلها يستمر التعبير الدّوري للعلامات البليولوجيَّة ومن ثَمَّ تُتَرجم في شكلّ سلوك حتّى في حال اضطراب دورات اللّيل والنّهار المتزامِنة كما هو الوضع في حال ثبات ظروف الإضاءة اصطناعيًا (الشكلّ 1).



الشكلّ(1): تمثيل تخطيطي لإيقاعات الدِّماغ من خلال الساعة البليولوجيَّة.

المصدر: Thut et al. (2012)

إنّ هذه التَّغَيُّرات الإيقاعيَّة الدوريّة خاضِعة للتدخّلات التَّحْفيزيذة الخارجِيَّة ولكن بتحكّم من قِبَل ثوابت زمنِيَّة جوهريَّة Wan and Schlaug (2010)، فعند تعريض الدِّماغ لتحفيز إيقاعي خارجي مثل الموسيقى، فسيقوم هذ الأخير أي الدِّماغ بإنْشاء إطار مرجعي زمني متكرّر، يسمح بترميز علاقات زمنِيَّة (دورية) بين مجموعات البِنْيات العَصَبِيّة وبين الوظائف

المَعْرِفِيَّة، والأهمُّ من ذلك أنّ هذا الإطار المرجعي ليس ثابتاً بل يخضع لتغييرات فيزيولوجيَّة النَّشاط العَصَبِيّ Schnitzler and Gross (2005)

دور الإيقاع الموسيقي في التَّوْظيفات العَصَبِيّة:

لا يمكن أن يختلف باحثان على أنّ آداء الشَّبَكات العَصَبِيّة مرتبط بصفة مباشرة بفيزيولوجيَّة الإيقاعات الداخِلِيَّة للدِّماغ، ولقد طُرِحَت فكرة أثر النَّشاط الموسيقي على التَّوْظيفات العَصَبِيّة منذ بداية تكثيف الأبحاث حول محاولة فكّ شيفرة الإيقاع العَصَبِيّ وكيفيّة إدراكه، فَعَلَى الرّغم من استخدام التَّدَخُّلات القائمة على الموسيقى لتأهيل بعض الاضطرابات المَعْرِفِيَّة، فلا يزال مجال الإدراك الموسيقي وانعكاساته على بعض السلوكات كاللُّغة والوظائف التّنْفيذية، غامضا بنسبة معتبرة Ferrari (2015)، فالعلاقات المحتملة مابين الإيقاع الموسيقي والسلوك ماهي إلاّ نتاج أو انعكاس لتغيُّرات التَّوْظيفات العَصَبِيّة نتيجة تفاعل الدِّماغ مع الإيقاعات الموسيقِيَّة، ولا يمكن بأيّ حال فَهْمَ معالجات الدِّماغ للإيقاع الموسيقي دون فَهْم أهمّ محدّدين لهذه المُعالجة النفسُعصبيَّة، والمتمثلين في: الزّمن والإيقاع الموسيقي.

وظيفة التّزامن الإيقاعي في إدراك الموسيقي:

تَصِفُ الأبحاث الإيقاع الموسيقي على أنّه نمط خاص من الفواصل الزّمنيَّة ضمن إطار من الفترات النِسْبِيَّة، فالتّسَلْسُلات الزّمنيَّة القصيرة والطويلة المتتاليّة الحدوث، تعتبر أهمّ عنصرٍ في الإيقاع الموسيقي الّذي يجب فَهْمَ تزامُنِه لِإدراك كيفيّة معالجته بالتّحديد (Schulkind, 1999; Bispham, 2006) ، ومن المُلْفِتِ لِلنّظر أنّ الباحثين يشدّدون على ضرورة مُراعاة التنوّع الثقافي للشعوب عند تصميم الأنشطة الموسيقِيَّة الإيقاعيَّة، لفحص معالجتها وإدراكها من طرف العَيّنات ذات الخلفيات الثقافية المتباينة(Hannon et al., 2012; Will, 2017) ، حتّى ولو لم يزل هذا الميدان البحثّي يفتقر إلى الكثير من التّوْضيحات والتّفْسيرات العلميّة الدّقيقة، فالإحْتِمالات المُرجّحة هي أن يكون لها تأثيرات متفاوتة على علاقتها مع إدراك التّوقيت (التّزامن الإيقاعي) والآداء المعرفي.(Polak, 2010) .

يتضمّن إدراك التّوقيت المرتبط بالتّنغيم الموسيقي عنصر التّمييز بين الأحداث القائمة على المدّة الزّمنيَّة المتّصِلة بالأحداث وبين الأحداث المنفصلة عنها (Teki et al., 2011; De Pretto & James, 2015) ، أمّا الأحداث المنفصلة فتتشمل وحدات متسلسلة من الزّمن مثل النّبَضات أو التردّدات الّتي تحدث غالبًا في إطار أكبر، أمّا الأحداث القائِمة على المُدّة الزّمنيَّة مثل الإشارات الزّمنيَّة الموسيقِيَّة تشمل حوادث أساسِيَّة متزامنة أكثر تباينًا فيما بينها، ولقد أثبتت الدّراسات وجود علاقة ارتباط بين التّزامن الإيقاعي والقدرة على إدراك ومعالجة المثيرات الحِسِيَّة مثل الإيقاع الموسيقي (Schirmer, et al., 2016) إضافة إلى كلّ هذا، فقد تبيّن أنّ انخفاض الآداء المعرفي لدى الأشخاص يمكن أن يكون عاملا متسببًا في اضطراب القدرة على متابعة التّزامن المرتبط بالمثير الإيقاعي الموسيقي (Large & Jones, 1999).

كما يُحَفِّز إدراك الإيقاع الموسيقي على إفْراز النّاقل العَصَبِيّ (Dopamine) وانتِشارِه في جميع أنحاء الدِّماغ، ممّا يُؤَكّدُ ارتباطه بالحركة وتجربة المتعة عند كلّ إيقاع موسيقي (Gebauer et al., 2012)، كما يُعدّ التنسيق بين الحركات الإيقاعيَّة عن طريق حركات الرّقص مثلا وبين إشارات الإيقاعات الموسيقِيَّة مؤشّرًا جيدّا للتَّعرّف على الأنْماط التَّنَبُّؤات الزّمنيَّة اللاّحقة للمُنَبِّهات الإيقاعيَّة الموسيقِيَّة (Salimpoor et al., 2015) وقد ينطوي هذا التنسيق على تفاعل بين

مناطق متعدّدة من الدِّماغ، ممّا يشير إلى القيمة المُحتملة للمشاركة في الأنشطة الموسيقِيَّة الإيقاعيَّة ودورها في التناسق المعرفي في الحالة الصِحِيَّة وحتّى في حال شيخوخة الدِّماغ.

الجانب المنهجي:

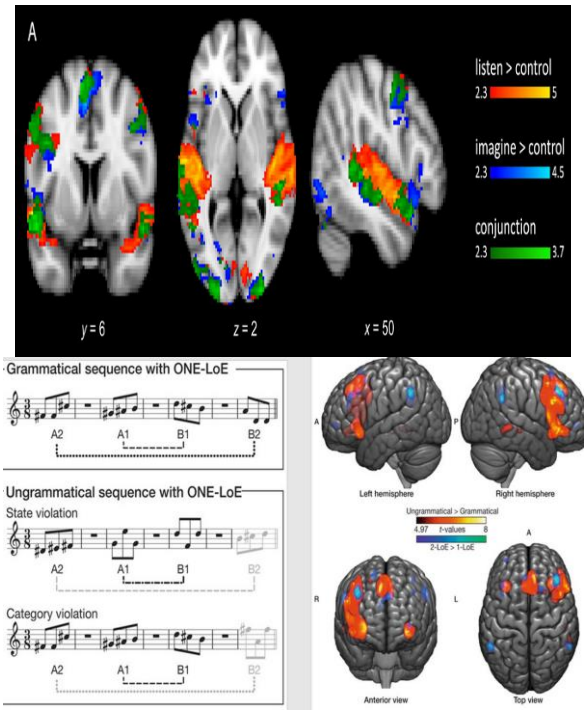
استندت هذه الورقة الباحِثة منهجيا إلى وصف وتحليل النتائج التصويريّة لتطبيقات الإستكشاف الطوبوغرافي الوظيفي للبِنْيات العَصَبِيّة المرتبطة بالتنشيط التّنْفيذي واللُّغَوي من خلال تكنولوجية الرّنين المغناطيسي الوظيفي.

عرض النتائج البحثية التصويرية :

البِنْيات الأساسِيَّة المرتبطة بإدراك الإيقاع الموسيقي:

يتطلب إدراك الإيقاع الموسيقي عمليّات مضبوطة وتلقائيّة في آنٍ واحد، لا سِيَما في سياق التّسَلْسُلات القصيرة (Fabio, 2019) ويظهر ذلك جليًّا من خلال فرضيّة (محاكاة الحركة للتّنبَؤ السّمعي) لصاحبيها(Iversen 2014) والّتي تقترح أنّ محاكاة الحركات الدوريّة في باحات التخطيط الحركي توفّر إشارة عصبية تساعد النظام السمعي على التّنَبُّؤ بتوقيت الإيقاعات الموسيقِيَّة القادمة(الذبذبات القادمة)، وترتبط هذه الفرَضِيَّة بتطبيق كلٌّ من Vuust و Witekلنظريتهما في الترميز التّنَبُّؤي على الإيقاع الموسيقي عام 2014، حيث يتم تصور إدراك الإيقاع كتفاعل بين ما يُسمع (الإيقاع الموسيقي) وبِنْيَة الدِّماغ المسؤول عن التّنَبُّؤ الموسيقى، كلّ هذا إن دَلّ عل شيءٍ فإنّما يدلّ على أهميّة التّفاعل العَصَبِيّ مع الإيقاع الموسيقي في الحفاظ على الوظيفة المَعْرِفِيَّة، ويُستدلّ على ذلك بالإنخفاض في الآداءات المرتبطة بالتقدّم في السّن من خلال التَّحَكُّم الحركي والتوظيف المعرفي.

تُسلِّط ورقة باحِثة حديثة، الضَّوء على الدّور الّذي يلعبه المُخَيْخ في الإيقاع الموسيقى، باستخدام عَيّنات من مؤلفين موسيقيين غربيين مصابين بتلفٍ في المُخَيْخ كحجّة لتقديم وجهات نظر حول استخدامات الموسيقى كأداة علاجية لتحسين وظيفة المُخَيْخ، وكذلك استخدام الموسيقى كأداة كشف لفهم وظيفة المُخَيْخ في الإيقاع الموسيقي (Evers, 2023)، ويتحدّد دور المُخَيْخ في إدراك التّزامن الإيقاعي للموسيقى إلى جانب النواة فوق المُخَيْخية على مستوى الباحات تحت المُهاد (Cohen, R.A., et al, 1997)، فالمُخَيْخ يشكلّ مع النواة فوق المُخَيْخيّة والعُقَد القاعديّة علاقة تراتُبيَّة تظهر من خلال إدراك المُخَيْخ للتوقيت والتنفيذ الحركي قصير الأمد، وتتّسع البِنْيات القِشْرِيَّة الّتي تساهم في معالجة الإيقاع الموسيقي لتشمل حتّى البِنْيات تحت القِشْرِيَّة(النواة المذنّبة للمخيخ) وتستمرّ هذه المسارات في الصّعود نحو السّطح لتشمل حيّزا معتبرا من المناطق الحركيَّة الجبهيّة وقبل الجبهيّة وصولا إلى القشرة الجداريّة (Strick et al., 2009)، فضَعْف اسقاطات هذه البِنْيات وامتداداتها قد يؤثّر على الإدراك الموسيقي والإنتباه وحتّى على ردود الأفعال الإنفعاليّة (Schmahmann, 2019) لأنّ الأُسُس العَصَبِيّة لإدراك ومعالجة الإيقاع الموسيقي في الدِّماغ تتضمن شبكات قِشْرِيَّة و تحت قِشْرِيَّة كالجسم المخطّط (Meck et al., 2008)، القشرة الحركيَّة الجبهية والصّدغيّة (Grahn & Brett, 2007; Bueti et al., 2008) الحُزمةالمقوّسة,(Vaquero et al., 2018)، الجسم الجاثي (Rajan et al., 2019) ، وبعض البِنْيات العَصَبِيّة الأُخرى الموزّعة على سطح القشرة المخيّة وتحت القِشْرِيَّة(Agustus et al., 2018)



الشكلّ(2): الشَّبَكات الأساسِي»َة لإدراك الإيقاع الموسيقي

البِنْيات الثانويّة المرتبطة بإدراك الإيقاع الموسيقي:

لم يقتصر التوظيف العَصَبِيّ للإيقاع الموسيقي على البِنْيات الأساسِيَّة الّتي حُدِّدَتْ في القِشرة المخيّة والمُخَيْخ وبعض البِنْيات تحت القِشْرِيَّة، بل هناك جزء مهمّ حسب ما أدلت به دراسة Mayville et al. 2002 انطلاقا من ظاهرة التّزامن المرتبطة باقتران إدراك الفّعل في مناطق الدِّماغ ذات الصلة (Iversen, 2014) والّتي أشارت إلى مشاركة الشَّبَكات القِشْرِيَّة الثانوية (الفرعية) في المزامنة قصيرة المدّة لتنسيق الحركات استجابةً لمحفِّزٍ سمعيٍ خارجيٍ: الإيقاع الموسيقي، كما فحصت دراسات أخرى مثل دراسة(De Prett 2015) شبكات الدِّماغ المشاركة الثانوية في المزامنة الحِسِيَّة الحركيَّة القائمة على المدّة والإيقاع، ماسمح للباحثين بتسليط الضَّوء على مشاركة مناطق مختلفة من الدِّماغ في معالجة المعلومات الزّمنيَّة وتنفيذ الأوامر الحركيَّة، ولقد تضمّنت الشَّبَكات العَصَبِيّة المساهمة في كلّ من الإيقاع الموسيقي والرسائل النصيّة القصيرة القائمة على المدّة الزّمنيَّة مجموع البِنْيات القِشْرِيَّة الموضّحة في الجدول (1)، حيث تقوم الشبكة الأولى بمعالجة المعلومات الزّمنيَّة وتنفيذ الأوامر الحركيَّة، في حين تتحكم الشّبكة الثّانية في معالجة تصحيح الأخطاء.

الجدول(1):البِنْيات القِشْرِيَّة الثانوية لمعالجة وظيفة الإيقاع الموسيقي

الشبكة الدِّماغية إلّاولى	الشبكة الدِّماغية الثانية
الشَّبَكات الثنائية العليا	الشبكة الدِّماغية الثنائية السّفلية
التَّلْفيف الصدغي العلوي الثنائي	العقد القاعدية الثنائية
المنطقة الحركيَّة التكميلية	المُهاد

التَّلْفيف الجبهي السفلي	الفص الجداري السفلي
القشرة إلّامامية الحركيَّة الظهرية اليمنى	المُخَيْخ
القشرة الحركيَّة إلّاولية	
المُخَيْخ الخلفي إلّايمن	

المصدر: (Bernard & Seidler, 2014)

النتائج التجريبية المرتطبة بدور الإيقاع الموسيقي في المعالجة اللُّغَوية:

أثبتت العديد من الدّراسات العلميّة أنّ عمليّة معالجة الإيقاع الموسيقي واللغة والكلام متداخِلة على مستوى أجزاء متشابهة من الدِّماغ (Fadiga et al., 2009; Fujii & Wan, 2014)، الشيء الّذي دفع بالكثيرين منهم إلى تأكيد إمكانية استخدام الأنشطة الموسيقِيَّة الإيقاعيَّة في برامج تأهيل الإضطرابات اللُّغَوية المرتبطة بالتقدّم في السّن Gollan, Goldrick, 2019 (Diaz, 2016)، ولهذا السّبب قامت العديد من الدّراسات العلميّة بمناقشة التّمهيد الإيقاعي الموسيقي والتدريب الصوتي الحركي للكلّام بحثًا عن أوْجُه مقارنة مابين الإيقاع الموسيقي والتّزامن والمعالجات النّحْوِيَّة للّغة Cason et al. (2003); Teki and Griffiths (2016)، لتُظْهِر في نهاية المطاف نتائج الأدبيات البحثية تناقضًا بين نتائج بيانات التصوير العَصَبِيّ الوظيفي لفهم أوجه التَّشابُه والإختلاف بين الوسائِط التواصليّة النّحْوِيَّة الخاصّة المتدخّلة في النَّشاط العَصَبِيّ خلال معالجة الإيقاع الموسيقي، مما نتج عنه مذهبين علميين متقابلين هما :

- البيانات النفسية العَصَبِيّة الّتي اقترحت التداخل بين مناطق الدِّماغ المسؤولة عن المعالجة النّحْوِيَّة في كلّ من الموسيقى واللغة.
- البيانات النفسية العَصَبِيّة الّتي اقترحت أنّ النّحو اللُّغَوي والإيقاع الموسيقي يمكن أن يكونا منفصليْن وظيفيًا.

بتقديم مقاربة نظريّة أثبت من خلالها أنّ الموسيقى واللّغة يتشاركان في الآليَّة Patelولازالة هذا اللُّبْس العلمي قام الدِّماغية المرتبطة بالمعالجة النّحْوِيَّة والّتي بسببها يمكن اختبار التَّنَبُّؤ بأنّ حبسة بروكا ستؤثر على المعالجات الإيقاعيَّة للموسيقى مثلما تؤثّر على الإنتاج اللفظي (Patel et al., 1998; Maess et al., 2001; Koelsch et al., 2002; Tillmann et al.,2003) ومن هذا الإسْتِنْباط العلمي لتداخل الباحات التوظيفِيَّة مابين اللغة والإيقاع الموسيقي، تمكّن الباحثون من توفير أساسٍ نظريٍّ لمعالجة الإضطرابات في الإنتاج اللُّغَوي المرتبط بالتقدّم في السّن وذلك بالرّغم من عدم وجود استخدامات للأنشطة الإيقاعيَّة الموسيقِيَّة والّتي تساعد في حساب التَّغَيُّرات الوظيفِيَّة المحتملة في البِنْيات التشريحيّة المتفاعلة.

بما أنّ الموسيقى تُعتبر أيضا نموذجًا لغويًا، فهي تحمل أيضا مضامين وهياكلّ نحويّة مثلها مثل اللغة المعبّر عنها بالكلام لأنّ كلّ منهما تستخدمان بُنى هرميّة تواصليّة لنقل المعنى وأنّ كلّ ذلك يتِمُّ ضِمن سياقات اجتماعية وثقافية (Jackendoff,2002)، وهذا ما أثبتت وجوده الباحات العَصَبِيّة الوظيفِيَّة خلال تحليل أنشطة العَيِّنات الّتي أُخْضِعَتْ للتجارب، حيث لوحظ أنّ التَّلْفيف الجبهي السفلي الأيْسر، والمنطقة الحركيَّة الثانويّة اليُسرى، والمغزل الثنائي يتداخلان في المعالجة اللُّغَوية والإيقاعيَّة النّحْوِيَّة والّتي تعتبر ركائز عصبيّة تشارك في المعالجة التراتبيّة الزّمنيَّة والترميز التَّنَبُّؤي

(Heard, 2020)، الشيء الّذي قد يجعل هذه المناطق تساهم بشكلّ متداخل في تصميم توظيفات موسيقية إيقاعية جديدة، خاصّة أثناء مساعدة البالغين وكبار السّن في إنتاج اللغة والكلام.

نتائج فحص العلاقة ما بين الإضطراب اللُّغَوي الإجْهاد الإيقاعي الموسيقى:

لقد بيّنت الإختبارات التجريبية الّتي أجريت على عيّنة فلنديّة تراوحت أعمارها مابين (19–60 سنة) ممّن لم يحصلوا على تعليم أو تدريب موسيقي سابق أو حصلوا على تعليم أو تدريب موسيقي محدود أو لم يحصلوا على أي تدريب موسيقي سابق، وجود ارتباطات إيجابية كبيرة بين أدائهم للاختبار الفرعي للإيقاع الموسيقي غير المنضبط في بطارية مونتريال لتقييم اضطرابات التعرف على الإيقاع الموسيقي (Peretz et al,2003) وبين اختبار إجهاد الكلّمات المترجم إلى اللغة الفنلندية (Torppa et al., 2010)، وأمّا بالنسبة للعلاقة ما بين إدراك الإيقاع الموسيقي وبين الإدراك الفضائي البصري فقد كانت سلبية(لا توجد علاقة)، ويستدلّ الباحثون على ذلك بإطار تقاسم الموارد العَصَبِيّة الوظيفِيَّة للمجالين(الإيقاع الموسيقي والمعالجة اللُّغَوية)، الأمر الّذي يتسبّب في تداخل المجالين في المعالجة الإيقاعيَّة الموسيقِيَّة والمعالجة اللُّغَوية، خاصّة بين نِصفيْ الكرة المخيّة الأيمن والأيسر(Patel, 2012)، ويضاف إلى هذا دليلاً علميًا آخر مستَمَدًا من علم النفس العَصَبِيّ الّذي يؤكّد على أهميّة الوظائف المَعْرِفِيَّة للمناطق المتفاعلة والمتدخّلة في المجال اللُّغَوي والمجال الإيقاعي الموسيقي مثل العُقَد القاعدية والمُخَيْخ والمنطقة الحركيَّة الثانويّة وكذا معالجة كلّ من الكلام (Schwartze, 2010) والإيقاع الموسيقي(Chen et al, 2008)، وتظلّ تأثيرات النّقل المحتملة بين الكلام والمعالجة الموسيقِيَّة هي المجال الأكثر إثارة للاهتمام (Patel, 2011) والّتي يربطها(Hausen, 2013) بنظريّة الإنتباه الديناميكي والتّزامن بين التذبذبات الداخِليَّة والبِنْيَة الزّمنيَّة الخارجِيَّة (Large & Jones, 1999).

نتائج اختبار علاقة الإيقاع الموسيقي بالوظائف التّنْفيذية لدى المسنين:

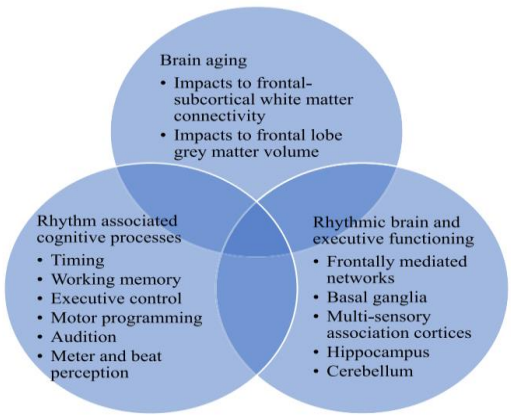
ركّزت العديد من الدّراسات أبحاثها حول محاولة إيجاد الإرتباطات بين آداء الوظائف التّنْفيذية لدى الفئة المسنّة وبين الإيقاع الموسيقي، ولقد تبيّن أنّ المشاركة في الأنشطة الموسيقِيَّة الإيقاعيَّة يمكن أن يُقوّي الترابط بين مناطق الدِّماغ القِشْرِيَّة وتحت القِشْرِيَّة المرتبطة بالتّوقيت الوظيفي والآداء التّنْفيذي بسبب التّزامن المطلوب لآداء الأنشطة الموسيقِيَّة الإيقاعيَّة ودقّة آلياتها في حال ما اذا تمت المشاركة في الأنشطة الموسيقِيَّة الإيقاعيَّة بطريقة آليةّ ومع الأخذ في الإعتبار إيقاعات الدِّماغ المتزامنة كوسيلة لتحسين الإدراك (Grover et al., 2021)، كما تُعتبر الوظائف التّنْفيذية (EFs) مجموعة من العملِيّات متراكبة تعتمد على وظيفتي التركيز والإنتباه (Diamond, 2013)، وترتبط بالعملِيّات المنضبطة والمُحْكَمَة والّتي يتمّ بواسطتها الإسترجاع القصدي للمعلومات بالإعتماد على السلوك الواعي (Fabio et al., 2019)، وهناك ثلاثة وظائف تنفيذيّة ضروريّة للتركيز والإنتباه، والّتي تتمثّل أساسًا في : التّثبيط، الذّاكرة العاملة والمرونة المَعْرِفِيَّة (Miyake et al.,2000)، إذ يشير التّثبيط إلى القدرة على التَّحَكُم في الإنتباه أو السلوك أو الأفكار أو المشاعر في كلّ لحظة؛ كما تُعرّف الذاكرة العاملة بالقدرة على فهم مدلوليّة المعلومات الّتي تُستحضر مع مرور الوقت في غيابها وأمّا المرونة المَعْرِفِيَّة فتشير إلى القدرة على تغيير الآفاق أو المنظورات البديلة للوظائف التّنْفيذية بسلاسة من التوجهات المكانيّة أو الإجتماعية (Diamond, 2013).

تتوسع المنظورات البديلة للوظائف التّنْفيذية من منظور دايموند (2013) وتساعد في وضع تصوّر للتطبيق على سبيل المثال (إدراك الإيقاع الموسيقي). يشير (Nemeth & Chustz, 2020) إلى الوظائف التّنْفيذية كوظائف تجعلنا نوظّف فيزيولوجيَّة أدمغتنا بشكلٍ متفرّد عن باقي الكائنات من خلال الوظائف المَعْرِفِيَّة بما في ذلك الذاكرة العاملة والإنتباه وسرعة المعالجة.

يستند الباحثان السّابقان إلى عمل (Branstetter,2014)، الّذي اعتبر أنّ العوامل البيئية الحركيَّة هي المهارات المَعْرِفِيَّة الّتي تنظّم التفكير والشعور والسّلوك سعياً لتحقيق هدفٍ محدّد، وبالتركيز على الذاكرة العاملة (WM) والإنتباه فلقد وصف (Oberauer, 2019)الذاكرة العاملة بأنها الآليَّات أو العمليّات الأكثر حاجة للاحتفاظ بالتمثيلات الذهنية في الوقت الحقيقي، لتنفيذ مهمّة مَعْرِفِيَّة مستمرّة، ويُنظر إلى الإنتباه في هذه الحالة من منظورين اثنين: أحدهما كمصدر محدود لمعالجة المعلومات (Wickens, 1980) و أمّا الآخر فيتمثّل في تحديد أولويات اختيار المعلومات للمعالجة

(Chun et al., 2011)، إنّ اختيار الباحثين لسياقات الشيخوخة وإدراك الإيقاع الموسيقي وإنتاجه، يمكن أن يضمن لهم قيمة في الحفاظ على الآداء التّنْفيذي لتجربة الإيقاع الموسيقي بشكلٍ كامل.

تنصّ وجهة نظر الدِّماغ المنفصلة حول الشيخوخة المَعْرِفِيَّة على أنّ كِبار السّن يظهرون انخفاضًا في الوظائف التّنْفيذيّة بسبب التّدنّي في كلّ من الترابط البنيوي القشري والوظيفي بين كلّ من القشرة الجبهية والعُقَد القاعدية والجسم المُخطَّط (Fjell, et al,2017)، ومن المعلوم لدى الباحثين أنّه تحدث تغيُّرات في التَّحَكُم الحركي والوظائف التّنْفيذية نتيجة مرحلة الشيخوخة (caballero ; et al,2021 ;verissimo,2021)، بالإضافة إلى ذلك فالتّنشيط المتزامن للبِنيات القِشْرِيَّة وتحت القِشْرِيَّة المسؤولة عن الآداء التّنْفيذي قد يساهم وبقسطٍ كبيرٍ في فهمٍ أعمق للدِّماغ غير المتّصل في نمط الشيخوخة المَعْرِفِيَّة بسبب أنّ الأنشطة الموسيقِيَّة الإيقاعيَّة تساهم في تحسين التَّحَكُم الحركي والآداء التّنْفيذي في الشيخوخة السليمة(Degé & Kerkovius, 2018)، ولكنّ الفهم الأعمق للآليات العَصَبِيّة السلوكية المَعْرِفِيَّة، قد يساعد في تصميم المزيد من التَّدَخُّلات المُوَجَّهة للتأثير على مناطق الدِّماغ المرتبطة بهذه المفاهيم المتمايِزة والمتداخلة. الشكلّ(2)



الشكلّ (2). يوضح الإرتباطات والتداخل بين شيخوخة الدِّماغ ومعالجة الإيقاع الموسيقي والتوظيف التّنْفيذي

المصدر:

Colverson et al. (2024).

النتائج المرتبطة بدور الآداء التّنْفيذي في إدراك الإيقاع الموسيقي لدى المسنّ:

إنّه وبالرّغم من أنّ هناك ترابط ما بين تغيّرات آداء الوظائف التّنْفيذية وآداء الإيقاع الموسيقي المرتبط بعامل التّقدُّم في السّن، من خلال انخفاض عامل النّقر المنتظم (Ragot et al ;2002)، إلّا أنّ التدريب الموسيقي قد يغيّر تمثيل التّوقيت الدّاخلي لدى هذه الشّريحة، ممّا يوحي بالفوائد المحتملة للمشاركة الطوليّة في الأنشطة الموسيقِيَّة على شبكات الدِّماغ المرتبطة بالإيقاع وإدراك التّوقيت (Fujioka & Ross, 2017)، فبعد أن استخدم الباحثون علامات تردُّد الحالة المستقرّة لتخطيط المخّ، وقاموا بتحليل للقدرات المرتبطة بالحدث للترابط العَصَبِيّ مع الإيقاع السريع والبطيء بين المجموعات، فتوصّلوا إلى أنّ التداخل العَصَبِيّ لكبار السن مع معدلات من التردّد تم تحديدها بطريقة قصدية (2.5 و5 هرتز على التوالي)، كان أضعف لدى المجموعات الأقلّ سنّا، الأمر الّذي يدعم نظريّة(تثبيط الشيخوخة)، الّتي ترى أنّ العمر يؤثر سلبًا على الذاكرة العاملة وعمليّات الإنتباه المرتبطة بها (Hasher & Zacks, 1988)، كما بينت دراسة أخرى أجريت على أشخاص مسنّين أصحّاء لتقييم عدم تزامن النقرات وترابطها باستخدام مهام النّقر المتزامن وغير المتزامن، إضافةً إلى الإدراك باستخدام اختبارات مَعْرِفِيَّة مختلفة؛ كما لاحظوا وجود تأثيرات مرتبطة بالعمر على الآداء في المهام المتزامنة وغير المتزامنة، لكنهم لاحظوا أنّ الإختلافات في الآداء لم تكن مرتبطة مباشرة بالسّن، ففي المقابل إلى ذلك وجدوا علاقة سلبية بين العمر كمتغيّر مستقل وحجم المادة الرمادية في المناطق القِشْرِيَّة (السمعية، ما قبل الحركيَّة) وتحت القِشْرِيَّة(البوتامين، والنواة المذنبة، والمُخَيْخ)(Escoffier et al, 2015) ، هذا مأكدته نتائج (Degé & Kerkovius, 2018)، في دراستهما المختبرية حول التدريب الإيقاعي الموسيقي وتأثيره الإيجابي على الذاكرة العاملة والذاكرة البصرية لدى الأصحّاء من كبار السّن كما كان له الأثر الواضح على توظيف الذاكرة قصيرة المدى، واستدلوا على ذلك بالتخطيط الكهربائي للدّماغ من خلال الدّور المهمّ الّذي ظهر على مستوى الجزء الصدغي العلوي الأيمن، ولقد أبدت المجموعة الّتي أُخْضِعَتْ لتدريبات إيقاعيّة مكثّفة مهارة زائدة في فكّ التشفير (Zanto et al., 2022).

مناقشة نتائج الأبحاث :

مناقشة النتائج المرتبطة بعلاقة الوظائف التّنْفيذية باللغة في إدراك الإيقاع الموسيقي:

إنّ أغْلَب النتائج التصويرية المُشار إليها سابقًا حول تبايُن وظائف الباحات العَصَبِيّة المرتبطة بالتّزامن وإدراك الإيقاع الموسيقي وكذا نشاط الوظائف التّنْفيذية واللُّغة، جميعها تؤكّد أنّ أغْلَب العَيّنات الّتي أُخْضِعَتْ أجهزتها العَصَبِيّة للتصوير الوظيفي بالرّنين المغناطيسي، تحتفظ بنشاط فيزيولوجي متواتِر ومتزامِن مع الإيقاعات الموسيقِيَّة الّتي استخدمت كمثيرات حِسِيَّة، مع وجود فروقات مرتبطة بالتردُّدات، الشيء الّذي يقودنا إلى التركيز لفهم كيفية حدوث التَّوْظيفات المَعْرِفِيَّة بناءا على المعطيات التشريحيّة، إذ أنّ نشاط الوظائف التّنْفيذية قد يتعزّز من خلال المشاركة في الأنشطة الموسيقِيَّة الإيقاعيَّة ممّا يحسّن تجريبيا الآداء المعرفي العام وبالتالي إمكانية انعكاسها على نتائج جودة الحياة (Landa, 2023) ؛ كما أنّ ارتباط الوظائف المَعْرِفِيَّة إجمالاً والوظائف التّنْفيذية بصفة خاصّة بالنَّشاط اللّساني اللُّغَوي مكّن من إمكانيّة استنتاج مجموعة من التّداخلات الوظيفِيَّة تزامنًا مع المعالجة المَعْرِفِيَّة للإيقاعات الموسيقِيَّة، والّتي يمكن استثمارها كنتيجة علميّة عمليّة في إعداد برامج التأهيل اللُّغَوي لدى مختلف الشرائح العمريّة، وبما أنّ الآليّة العَصَبِيّة المرتبطة بالمعالجة اللُّغَوية

تشترك مع آليات معالجة الإيقاعات الموسيقِيَّة، فيمكننا من خلال هذه النتيجة المُثْبَتَة عمليًّا التّركيز على استراتيجيّة التكيّف التّعويضي الّتي تدعمها فيزيولوجيَّة الجهاز العَصَبِيّ كلّما اشتدّ تواترها مع الحالات.

مناقشة النتائج المرتبطة بعلاقة التقدّم في السنّ بالقدرة على إدراك الإيقاع الموسيقي:

بعد أن أثبتت التجارب المُخْتبرية أنّ الشيخوخة تؤثّر سلبًا على الإتّصال بين مناطق الدِّماغ المرتبطة بها، إلّا أنّ التّدريبات المستمرَّة على الإيقاع الموسيقي من شأنِها أن تحافظ على بِنْيَة وفيزيولوجيَّة الجهاز العَصَبِيّ، فالمناطق المرتبطة بوظائف التَّحَكُم، والعمليّات التّلقائيّة المرتبطة بالتّوقيت خاصّة، وإدراك الإيقاع، تُعْتَبَر سيرورات وآليات وظيفِيَّة يمكن الإستثمار فيها لتحسين التّوظيف المعرفي سواء الحالات السّليمة أم الحالات الّتي تعاني آثارَ اضطرابات أخرى، وهذا ماعزّزته التَّدَخُّلات القائمة على الإيقاع الموسيقي وفوائِدِه على نطاق واسع، خاصّة في الشيخوخة المَعْرِفِيَّة وذلك عَبْر أدلَّة تصويريّة مقطَعِيَّة لنشاط مختلف الباحات القِشْرِيَّة وتحت القِشْرِيَّة، فمن خلال النَّشاط الفيزيولوجي المرتفع بالنّسبة للأشخاص الّذين لديْهم خلفيّة مَعْرِفِيَّة إزاء الإيقاعات الموسيقِيَّة (آداءا، استماعا، تفاعلا، أو حتّى تنظيرا: معلومات علمية عن الإيقاع الموسيقي)، وبالرّجوع إلى تقييمات الوظائف الأساسِيّة للحالات والّتي تبيّن أن درجات الذّاكرة الدّلاليّة وذاكرة الأحداث لديهم كانت أعلى من درجات الأشخاص الّذين كانت خلفيتهم في الإيقاع الموسيقي ضعيفة أو محدودة (Gooding et al, 2014) ،كما أنّ جهود (Moussard et al., 2016) الّذي أثبت أنّ توظيف النَّشاط المعرفي لدى فئة الموسيقيين كان أعلى من الآداءات المَعْرِفِيَّة لدى غيرهم ممّن ليست لديهم أيُّ علاقة بالإيقاعات الموسيقِيَّة، ما يجعلنا نستنتج أيضا أنّ ممارسة الموسيقى قد تفيد نشاط الوظائف التّنْفيذية إلى فترات زمنِيَّة متقدمة من العمر، إضافة إلى كلّ هذا فالتّقييمات النفسيّة العَصَبِيّة المُشار إليها من طرف (Wang et al,2023) ترتبط بشكلٍ أفضل بتأثيرات قصيرة المدى النّاتجة عن التّدريبات على الآلات الموسيقِيَّة والّتي تنعكس على التوظيف المعرفي لدى البالغين الأصِحّاء من كبار السنّ، يؤدّي بنا إلى نتيجة محدّدة مضمونها أنّ الأنشطة الموسيقِيَّة الإيقاعيَّة على وجه التحديد لها أثر مباشر على الوظائف التّنْفيذية المرتبطة بنيويا ووظيفيا باللغة.

الخاتمة:

نَخْلُص في نهاية تحرير هذه الورقة الباحِثة إلى أنّ الميدان العلميّ لا يزال يُطلِعُنا باستمرار على لا محدوديّة نشاط التَّوْظيفات المَعْرِفِيَّة للجهاز العَصَبِيّ، حيث يبذل الباحثون جهودا مضْنيَّة وحثيثة بغرض الإستثمار في الصِحَّة المَعْرِفِيَّة للأفراد، ويعملون دون هوادة لسَبْرِ غَوْرِ العلاقات والتَرابُطات ما بين أيّ نشاط معرفي في بنياته وآليّاته وبين أيّ مثيرٍ خارجيٍّ.

فبعد تحقُّقِ الباحثين من وجود ارتباط بين التقدّم في السّن وانخفاض في الآداء التّنْفيذي والتّوقيت وإدراك الإيقاع وإنتاجه، ذهبوا لاقتراح أنشطة خارجيّة للرّفع من الكفاءة المَعْرِفِيَّة للأفراد، والمحافظة على النَّشاط الذّهني إلى أبعد حدّ ممكن، كما رصد الباحثون الوقت والجُهد لمحاولة الفّهم المعمّق لظاهرة التداخُلات العَصَبِيّة للعوامل السّابقة، فبدى وكأنّ ما عزّز ودعم هذه البحوث اتّفاق غالبيتِهم في النتائج المُتوصّل إليها، الأمر الّذي ساعد على رفع مستوى تصميمات الدّراسات الّتي تبحث في استخدامات الأنشطة الموسيقِيَّة الإيقاعيَّة للحفاظ على الآداء التّنْفيذي واللُّغة الشفهيّة ومع ذلك لا يوجد سوى عدد

قليل من التَّدَخُّلات المصمّمة والمضبوطة للبحث في آثار الإجراءات الوقائية للأنشطة الموسيقِيَّة الإيقاعيَّة على التدهور الوظيفي في التفاعلات السلوكيّة الدِّماغية المرتبطة بالتقدّم في السنّ، وإنّه وبالرّغم من إثبات وجود تداخل وظيفي بين الإيقاعات الموسيقِيَّة والإنتاج اللفظي وكذا الوظائف التّنْفيذية، فهناك معرفة محدودة حول العلاقة بين التقدُّم في السنّ والتَّغَيُّرات في التّزامن العَصَبِيّ السّلوكي المرتبط بالآداء التّنْفيذي والتّوقيت والإيقاع، وحتّى الإدراك والإنتاج اللّفظي، الشيء الّذي يجعل الحاجة إلى مزيد من الأبحاث في هذا المجال ضرورة علمية ملحّة بُغية التحقّق من الإرتباطات بين التّوقيت والإيقاع والوظائف التّنْفيذية واللُّغَوية من أجل فهم الآليَّات والإتّجاه والتّوزيع الطّبيعي لمهارات الآداء الإيقاعي في مختلف الفئات العمريّة بوجه عام وفئة الشيخوخة بوجه خاص، للرّفع من نسبة الإستثمار في تأهيلها معرفياً.

لمحة حول الكاتب

الدكتورة وهيبة فتيحة، أستاذة محاضرة "ب" بجامعة عبد الحميد مهري – قسنطينة 2، حاصلة على دكتوراه في أمراض اللغة والتواصل، وتمتلك خبرة في الأرطوفونيا والمشاريع الجامعية. لها مشاركات علمية متعددة واهتمامات بحثية في الاضطرابات اللغوية والعلوم العصبية. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-3984-760X .

التمويل: هذا البحث غير ممول.

شكر وتقدير: لا ينطبق.

تضارب المصالح: يعلن المؤلفون عدم وجود أي تضارب في المصالح.

إلّاصالة: هذه البحث عمل أصلي.

بيان الذكاء إلّاصطناعي: لم يتم استخدام الذكاء إلّاصطناعي أو التقنيات المدعومة بالذكاء إلّاصطناعي.

References

Altenmüller, E. (2008). Neurology of musical performance. *Clinical Medicine*, *8*, 410–413. https://doi.org/10.7861/clinmedicine.8-4-410

Augustus, J. L. et al. (2018). Melody processing characterizes functional neuroanatomy in the aging brain. *Frontiers in Neuroscience*, *12*, Article 1. https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00001

Bernard, J. A., & Seidler, R. D. (2014). Moving forward: Age effects on the cerebellum underlie cognitive and motor declines. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *42*, 193–207. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.02.011

Bidelman, G. M., & Alain, C. (2015). Musical training orchestrates coordinated neuroplasticity in auditory brainstem and cortex to counteract age-related declines in categorical vowel perception. *Journal of Neuroscience*, *35*(3), 1240–1249. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3292-14.2015

Bidelman, G. M., & Mankel, K. (2019). Reply to Schellenberg: Is there more to auditory plasticity than meets the ear? *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *116*(7), 2785–2786. https://doi.org/10.1073/pnas.1820437116

Bispham, J. (2006). Rhythm in music: What is it? Who has it? And why? *Music Perception*, *24*(2), 125–134. https://doi.org/10.1525/mp.2006.24.2.125

Branstetter, R. (2014). *The everything parent's guide to children with executive functioning disorder: Strategies to help your child achieve the time-management skills, focus, and organization needed to succeed in school and life*. Adams Media.

Brown, R. M., Zatorre, R. J., & Penhune, V. B. (2015). Expert music performance: Cognitive, neural, and developmental bases. *Progress in Brain Research*, *217*, 57–86. https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2014.11.021

Bugos, J. A., Perlstein, W. M., McCrae, C. S., Brophy, T. S., & Bedenbaugh, P. H. (2007). Individualized piano instruction enhances executive functioning and working memory in older adults. *Aging & Mental Health*, *11*(4), 464–471. https://doi.org/10.1080/13607860601086504

Buzsáki, G. (2006). *Rhythms of the brain*. Oxford University Press.

Caballero, H., McFall, G. P., Wiebe, S. A., & Dixon, R. A. (2021). Integrating three characteristics of executive function in non-demented aging: Trajectories, classification, and biomarker predictors. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *27*(2), 158–171. https://doi.org/10.1017/S1355617720000833

Cason, N., Astésano, C., & Schön, D. (2015). Bridging music and speech rhythm: Rhythmic priming and audio–motor training affect speech perception. *Acta Psychologica*, *155*, 43–50. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2014.12.002

Chen, J. L., Penhune, V. B., & Zatorre, R. J. (2008). Listening to musical rhythms recruits motor regions of the brain. *Cerebral Cortex*, *18*(12), 2844–2854. https://doi.org/10.1093/cercor/bhn042

Chun, M. M., Golomb, J. D., & Turk-Browne, N. B. (2011). A taxonomy of external and internal attention. *Annual Review of Psychology*, *62*, 73–101. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.093008.100427

Cohen, R. A., Barnes, H. J., Jenkins, M., & Albers, H. E. (1997). Disruption of short-duration timing associated with damage to the suprachiasmatic region of the hypothalamus. *Neurology*, *48*(6), 1533–1539. https://doi.org/10.1212/wnl.48.6.1533

Deco, G., & Thiele, A. (2009). Attention: Oscillations and neuropharmacology. *European Journal of Neuroscience*, *30*(3), 347–354. https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2009.06833.x

Degé, F., & Kerkovius, K. (2018). The effects of drumming on working memory in older adults. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1423*(1), 242–250. https://doi.org/10.1111/nyas.13685

De Pretto, M., & James, C. E. (2015). Principles of parsimony: fMRI correlates of beat-based versus duration-based sensorimotor synchronization. *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*, *25*(4), 380–391. https://doi.org/10.1037/pmu0000123

Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, *64*, 135–168. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750

Erences, I., & Wang, X. J. (2010). Neurophysiological and computational principles of cortical rhythms in cognition. *Physiological Reviews*, *90*(3), 1195–1268. https://doi.org/10.1152/physrev.00035.2008

Escoffier, N., Herrmann, C. S., & Schirmer, A. (2015). Auditory rhythms entrain visual processes in the human brain: Evidence from evoked oscillations and event-related potentials. *NeuroImage*, *111*, 267–276. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.02.024

Evers, S. (2023). The cerebellum in musicology: A narrative review. *The Cerebellum*, *22*(1), 1–11. https://doi.org/10.1007/s12311-022-01391-7

Ever-changing cycles of musical pleasure: The role of dopamine and anticipation. (2012). *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*, *22*(2), 152–167. https://doi.org/10.1037/a0031126

Fabio, R. A., Caprì, T., & Romano, M. (2019). From controlled to automatic processes and back again: The role of contextual features. *European Journal of Psychology*, *15*(4), 773–788. https://doi.org/10.5964/ejop.v15i4.1737

Fadiga, L., Craighero, L., & D'Ausilio, A. (2009). Broca's area in language, action, and music. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1169*(1), 448–458. https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04582.x

Fauvel, B., Groussard, M., Eustache, F., Desgranges, B., & Platel, H. (2013). Neural implementation of musical expertise and cognitive transfers: Could they be promising in the framework of normal cognitive aging? *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*, Article 693. https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00693

Fauvel, B., Groussard, M., Mutlu, J., Arenaza-Urquijo, E. M., Eustache, F., Desgranges, B., & Platel, H. (2014). Musical practice and cognitive aging: Two cross-sectional studies point to phonemic fluency as a potential candidate for a use-dependent adaptation. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *6*, Article 227. https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00227

Ferrari, R. (2015). Writing narrative style literature reviews. *Medical Writing*, *24*(4), 230–235. https://doi.org/10.1179/2047480615Z.000000000329

Fjell, A. M., Sneve, M. H., Grydeland, H., Storsve, A. B., & Walhovd, K. B. (2017). The disconnected brain and executive function decline in aging. *Cerebral Cortex*, *27*(3), 2303–2317. https://doi.org/10.1093/cercor/bhw082

Foster, R. G., & Kreitzman, L. (2005). *Rhythms of life: The biological clocks that control the daily lives of every living thing*. Yale University Press.

Fujioka, T., & Ross, B. (2017). Beta-band oscillations during passive listening to metronome sounds reflect improved timing representation after short-term musical training in healthy older adults. *European Journal of Neuroscience*, *46*(8), 2339–2354. https://doi.org/10.1111/ejn.13684

Fujii, S., & Wan, C. Y. (2014). The role of rhythm in speech and language rehabilitation: The SEP hypothesis. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, Article 777. https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00777

Gebauer, L., Kringelbach, M. L., & Vuust, P. (2012). Ever-changing cycles of musical pleasure: The role of dopamine and anticipation. *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*, *22(*2), 152–167. https://doi.org/10.1037/a0031126

Gooding, L. F., Abner, E. L., Jicha, G. A., Kryscio, R. J., & Schmitt, F. A. (2014). Musical training and late-life cognition. *American Journal of Alzheimer's Disease & Other Dementias*, *29*(4), 333–343. https://doi.org/10.1177/1533317513517048

Gollan, T. H., & Goldrick, M. (2019). Aging deficits in naturalistic speech production and monitoring revealed through reading aloud. *Psychology and Aging*, *34*(1), 25–42. https://doi.org/10.1037/pag0000309

Grahn, J. A., & Brett, M. (2007). Rhythm and beat perception in motor areas of the brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *19*(5), 893–906. https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.5.893

Grover, S., Nguyen, J. A., & Reinhart, R. M. G. (2021). Synchronizing brain rhythms to improve cognition. *Annual Review of Medicine*, *72*, 29–43. https://doi.org/10.1146/annurev-med-060619-022857

Groussard, M., La Joie, R., Rauchs, G., Landeau, B., Chételat, G., Viader, F., Desgranges, B., Eustache, F., & Platel, H. (2010). When music and long-term memory interact: Effects of musical expertise on functional and structural plasticity in the hippocampus. *PLoS ONE*, *5*(8), e13225. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013225

Groussard, M., Viader, F., Landeau, B., Desgranges, B., Eustache, F., & Platel, H. (2014). The effects of musical practice on structural plasticity: The dynamics of grey matter changes. *Brain and Cognition*, *90*, 174–180. https://doi.org/10.1016/j.bandc.2014.06.013

Hammond, C., Bergman, H., & Brown, P. (2007). Pathological synchronization in Parkinson's disease: Networks, models and treatments. *Trends in Neurosciences*, *30*(7), 357–364. https://doi.org/10.1016/j.tins.2007.05.004

Hannon, E. E., Soley, G., & Ullal, S. (2012). Familiarity overrides complexity in rhythm perception: A cross-cultural comparison of American and Turkish listeners. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *38*(3), 543–548. https://doi.org/10.1037/a0027225

Hasher, L., & Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. *Psychology of Learning and Motivation*, *22*, 193–225. https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60041-9

Hausen, M., Torppa, R., Salmela, V. R., Vainio, M., & Särkämö, T. (2013). Music and speech prosody: A common rhythm. *Frontiers in Psychology*, *4*, Article 566. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00566

Heard, M., & Lee, Y. S. (2020). Shared neural resources of rhythm and syntax: An ALE meta-analysis. *Neuropsychologia*, *137*, Article 107284. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.107284

Jackendoff, R. (2002). *Foundations of language*. Oxford University Press.

Kalpouzos, G., Eustache, F., & Desgranges, B. (2008). Réserve cognitive et fonctionnement cérébral au cours du vieillissement normal et de la maladie d'Alzheimer [Cognitive reserve and neural networks in normal aging and Alzheimer's disease]. *Psychologie & Neuropsychiatrie du Vieillissement*, *6*(2), 97–105. https://doi.org/10.1684/pnv.2008.0126

Koelsch, S., Gunter, T. C., von Cramon, D. Y., Zysset, S., Lohmann, G., & Friederici, A. D. (2002). Bach speaks: A cortical "language-network" serves the processing of music. *NeuroImage*, *17*(2), 956–966. https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1154

Kotz, S. A., & Schwartze, M. (2010). Cortical speech processing unplugged: A timely subcortico-cortical framework. *Trends in Cognitive Sciences*, *14*(9), 392–399. https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.06.005

Landa, S. (2023, January 13). *5 reasons why seniors should play drums*. Drumeo. https://www.drumeo.com/beat/5-reasons-why-seniors-should-play-drums/

Large, E. W., & Jones, M. R. (1999). The dynamics of attending: How people track time-varying events. *Psychological Review*, *106*(1), 119–159. https://doi.org/10.1037/0033-295X.106.1.119

Lerousseau, J. P., Hidalgo, C., & Schön, D. (2020). Musical training for auditory rehabilitation in hearing loss. *Journal of Clinical Medicine*, *9*(4), Article 1058. https://doi.org/10.3390/jcm9041058

Madsen, S. M. K., Marschall, M., Dau, T., & Oxenham, A. J. (2019). Speech perception is similar for musicians and non-musicians across a wide range of conditions. *Scientific Reports*, *9*, Article 10404. https://doi.org/10.1038/s41598-019-46728-1

Maess, B., Koelsch, S., Gunter, T. C., & Friederici, A. D. (2001). Musical syntax is processed in Broca's area: An MEG study. *Nature Neuroscience*, *4*(5), 540–545. https://doi.org/10.1038/87502

Mayville, J. M., Jantzen, K. J., Fuchs, A., Steinberg, F. L., & Kelso, J. A. S. (2002). Cortical and subcortical networks underlying syncopated and synchronized coordination revealed using fMRI. *Human Brain Mapping*, *17*(4), 214–229. https://doi.org/10.1002/hbm.10065

McInnes, A., Humphries, T., Hogg-Johnson, S., & Tannock, R. (2003). Listening comprehension and working memory are impaired in attention-deficit hyperactivity disorder irrespective of language impairment. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *31*(4), 427–443. https://doi.org/10.1023/A:1023895602957

Meck, W. H., Penney, T. B., & Pouthas, V. (2008). Cortico-striatal representation of time in animals and humans. *Current Opinion in Neurobiology*, *18*(2), 145–152. https://doi.org/10.1016/j.conb.2008.08.002

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to

complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, *41*(1), 49–100. https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734

Moussard, A., Bermudez, P., Alain, C., Tays, W., & Moreno, S. (2016). Life-long music practice and executive control in older adults: An event-related potential study. *Brain Research, 1642*, 146–153. https://doi.org/10.1016/j.brainres.2016.03.028

Nemeth, D. G., & Chustz, K. M. (2020). Executive functions defined. In D. G. Nemeth & K. M. Chustz (Eds.), *Evaluation and treatment of neuropsychologically compromised children* (pp. 107–120). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819545-1.00006-1

Oberauer, K. (2019). Working memory and attention - A conceptual analysis and review. *Journal of Cognition*, *2*(1), Article 36. https://doi.org/10.5334/joc.58

Overy, K. (2003). Dyslexia and music: Measuring musical timing skills. *Dyslexia*, *9*(1), 18–36. https://doi.org/10.1002/dys.233

Parbery-Clark, A., Strait, D. L., Hittner, E., & Kraus, N. (2013). Musical training enhances neural processing of binaural sounds. *Journal of Neuroscience*, *33*(42), 16741–16747. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5700-11.2013

Patel, A. D. (2003). Language, music, syntax and the brain. *Nature Neuroscience*, *6*(7), 674–681. https://doi.org/10.1038/nn1082

Patel, A. D. (2011). Why would musical training benefit the neural encoding of speech? The OPERA hypothesis. *Frontiers in Psychology*, *2*, Article 142. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00142

Patel, A. D. (2012). Language, music, and the brain: A resource-sharing framework. In P. Rebuschat, M. Rohrmeier, J. A. Hawkins, & I. Cross (Eds.), *Language and music as cognitive systems* (pp. 204–223). Oxford University Press.

Patel, A. D., Gibson, E., Ratner, J., Besson, M., & Holcomb, P. J. (1998). Processing syntactic relations in language and music: An event-related potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *10*(6), 717–733. https://doi.org/10.1162/089892998563121

Patel, A. D., & Iversen, J. R. (2014). The evolutionary neuroscience of musical beat perception: The Action Simulation for Auditory Prediction (ASAP) hypothesis. *Frontiers in Systems Neuroscience*, *8*, Article 57. https://doi.org/10.3389/fnsys.2014.00057

Peretz, I., Champod, A. S., & Hyde, K. (2003). Varieties of musical disorders: The Montreal Battery of Evaluation of Amusia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *999*(1), 58–75. https://doi.org/10.1196/annals.1284.006

Polak, R. (2010). Rhythmic feel as meter: Non-isochronous beat subdivision in jembe music from Mali. *Music Theory Online*, *16*(4). https://mtosmt.org/issues/mto.10.16.4/mto.10.16.4.polak.html

Popham, S., Boebinger, D., Ellis, D. P. W., Kawahara, H., & McDermott, J. H. (2018). Inharmonic speech reveals the role of harmonicity in the cocktail party problem. *Nature Communications*, *9*, Article 2122. https://doi.org/10.1038/s41467-018-04551-8

Ragot, R., Ferrandez, A.-M., & Pouthas, V. (2002). Time, music, and aging. *Psychomusicology: A Journal of Research in Music Cognition*, *18*(1–2), 28–45. https://doi.org/10.1037/h0094053

Rajan, A., Valla, J. M., Alappatt, J. A., Sharda, M., Shah, A., Ingalhalikar, M., & Singh, N. C. (2019). Wired for musical rhythm? A diffusion MRI-based study of individual differences in music perception. *Brain Structure and Function*, *224*(5), 1711–1722. https://doi.org/10.1007/s00429-019-01868-y

Rossi, E., & Diaz, M. T. (2016). How aging and bilingualism influence language processing: Theoretical and neural models. *Linguistic Approaches to Bilingualism*, *6*(1–2), 9–42. https://doi.org/10.1075/lab.6.1-2.01ros

Salimpoor, V. N., Zald, D. H., Zatorre, R. J., Dagher, A., & McIntosh, A. R. (2015). Predictions and the brain: How musical sounds become rewarding. *Trends in Cognitive Sciences*, *19*(2), 86–91. https://doi.org/10.1016/j.tics.2014.12.001

Schellenberg, E. G. (2005). Music and cognitive abilities. *Current Directions in Psychological Science*, *14*(6), 317–320. https://doi.org/10.1111/j.0963-7214.2005.00389.x

Schirmer, A., Meck, W. H., & Penney, T. B. (2016). The socio-temporal brain: Connecting people in time. *Trends in Cognitive Sciences*, *20*(10), 760–772. https://doi.org/10.1016/j.tics.2016.08.002

Schlaug, G. (2015). Musicians and music making as a model for the study of brain plasticity. *Progress in Brain Research*, *217*, 37–55. https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2014.11.020

Schmahmann, J. D. (2019). The cerebellum and cognition. *Neuroscience Letters*, *688*, 62–75. https://doi.org/10.1016/j.neulet.2018.07.005

Schnitzler, A., & Gross, J. (2005). Normal and pathological oscillatory communication in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, *6*(4), 285–296. https://doi.org/10.1038/nrn1650

Schulkind, M. D. (1999). Long-term memory for temporal structure: Evidence from the identification of well-known and novel songs. *Memory & Cognition*, *27*(5), 896–906. https://doi.org/10.3758/BF03198541

Stern, Y. (2009). Cognitive reserve. *Neuropsychologia*, *47*(10), 2015–2028. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.03.004

Strait, D. L., & Kraus, N. (2011). Can you hear me now? Musical training shapes functional brain networks for selective auditory attention and hearing speech in noise. *Frontiers in Psychology*, *2*, Article 113. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00113

Strick, P. L., Dum, R. P., & Fiez, J. A. (2009). Cerebellum and nonmotor function. *Annual Review of Neuroscience*, *32*, 413–434. https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.31.060407.125606

Teki, S., Grube, M., Kumar, S., & Griffiths, T. D. (2011). Distinct neural substrates of duration-based and beat-based auditory timing. *Journal of Neuroscience*, *31*(10), 3805–3812. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5561-10.2011

Teki, S., & Griffiths, T. D. (2016). Brain bases of working memory for time intervals in rhythmic sequences. *Frontiers in Neuroscience*, *10*, Article 239. https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00239

Thut, G., Miniussi, C., & Groß, J. (2012). The functional importance of rhythmic activity in the brain. *Current Biology*, *22*(16), R658–R663. https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.06.061

Tillmann, B., Janata, P., & Bharucha, J. J. (2003). Activation of the inferior frontal cortex in musical priming. *Cognitive Brain Research*, *16*(2), 145–161. https://doi.org/10.1016/S0926-6410(02)00245-8

Torppa, R., Faulkner, A., Vainio, M., & Järvikivi, J. (2010). Acquisition of focus by normal hearing and cochlear implanted children: The role of musical experience. *Speech Prosody 2010 - Fifth International Conference*. https://www.isca-speech.org/archive/sp2010/papers/sp10_066.pdf

Vaquero, L., Ramos-Escobar, N., François, C., Penhune, V., & Rodríguez-Fornells, A. (2018). White-matter structural connectivity predicts short-term melody and rhythm learning in non-musicians. *NeuroImage*, *181*, 252–262. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.07.018

Veríssimo, J., Verhaeghen, P., Goldman, N., Weinstein, M., & Ullman, M. T. (2022). Evidence that ageing yields improvements as well as declines across attention and executive functions. *Nature Human Behaviour*, *6*(1), 97–110. https://doi.org/10.1038/s41562-021-01169-7

Vuust, P., & Witek, M. A. (2014). Rhythmic complexity and predictive coding: A novel approach to modeling rhythm and meter perception in music. *Frontiers in Psychology*, *5*, Article 1111. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01111

Wan, C. Y., & Schlaug, G. (2010). Music making as a tool for promoting brain plasticity across the life span. *The Neuroscientist*, *16*(5), 566–577. https://doi.org/10.1177/1073858410377805

Wang, X., Soshi, T., Yamashita, M., Kakihara, M., Tsutsumi, T., Iwasaki, S., & Sekiyama, K. (2023). Effects of a 10-week musical instrument training on cognitive function in healthy older adults: Implications for desirable tests and period of training. *Frontiers in Ageing Neuroscience*, *15*, Article 1180259. https://doi.org/10.3389/fnagi.2023.1180259

Wickens, C. D. (1980). The structure of attentional resources. In R. S. Nickerson (Ed.), *Attention and performance VIII* (pp. 239–257). Erlbaum.

Will, U. (2017). Cultural factors in responses to rhythmic stimuli. In J. R. Evans & R. Turner (Eds.), *Rhythmic stimulation procedures in neuromodulation* (pp. 279–306). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803726-3.00011-5

Zanto, T. P., Johnson, V., Ostrand, A. E., & Gazzaley, A. (2022). How musical rhythm training improves short-term memory for faces. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *119*(41), e2201655119. https://doi.org/10.1073/pnas.2201655119

Zendel, B. R., West, G. L., Belleville, S., & Peretz, I. (2019). Musical training improves the ability to understand speech-in-noise in older adults. *Neurobiology of Ageing*, *81*, 102–115. https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2019.05.015

الاستشهاد بالمقال

وهيبة، فتحية .(2025) . علاقة معالجة الدّماغ للايقاع الموسيقي بالتنشيط التنفيذي واللغوي (دراسة عصبية–معرفية)

مجلة أطراس، *6*(2)، 620–638