

Development of Executive Functions and Their Neural Positioning A Cognitive Neuropsychology Approach

Mimoun Es-Salmi¹, Dr. Mostafa Ouessrar²

Faculty of Education Sciences,
Mohammed V University, Rabat, Morocco

Science Step Journal / SSJ

2025/Volume 3 – Issue 8

To cite this article: Es-Salmi, M., & Ouessrar, M. (2025). The Development of Executive Functions and Their Neural Positioning “A Cognitive Neuropsychology Approach”. Science Step Journal, 3(8). 273-294. ISSN: 3009-500X.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15117180>

Abstract

This article explores the development and neural positioning of executive functions in the brain from a cognitive neuropsychology perspective. The study aims to better understand how the brain structures responsible for executive functions evolve, starting in early childhood and continuing into adulthood. Research has shown that the prefrontal cortex matures gradually, with some areas still developing during adolescence and adulthood. This gradual development is linked to our ability to perform complex cognitive tasks. Executive functions like working memory and cognitive flexibility develop in parallel with the growth of the prefrontal cortex, which has been active since childhood. In addition, several brain regions contribute to these functions. The prefrontal cortex is considered the main hub, receiving signals from various other parts of the brain. Recognizing how executive functions evolve is crucial for understanding how we use them in problem-solving and task performance. This understanding also plays a key role in creating better educational and cognitive programs aimed at supporting the rehabilitation of these brain functions.

Keywords:

Executive functions, development, neural positioning, frontal lobe

¹ PhD student in Educational Psychology, Faculty of Educational Sciences, Mohammed V University, Rabat, Morocco.

Email: Mimoun.essalmi@um5r.ac.ma /orcid: <https://orcid.org/0009-0002-5978-5167>

² Professor of Psychology, Faculty of Education Sciences, Mohammed V University, Rabat, Morocco.

نمو الوظائف التنفيذية وتموضعها العصبي مقاربة سيكو عصبية معرفية

ميمون السالمي، د. مصطفى أوسرار

كلية علوم التربية، جامعة محمد الخامس
الرباط، المغرب.

ملخص

هدف هذا المقال إلى فهم نمو الوظائف التنفيذية وتموضعها العصبي في الدماغ من منظور علم النفس العصبي المعرفي. بحيث شكلت الدراسة مفتاحاً أساسياً في تحديد نمو وتوضع البنيات العصبية المسؤولة عن أدائها، ويسعى بالتحديد إلى تتبع هذا النمو الذي يبدأ في التدرج من الطفولة المبكرة ويستمر إلى ما بعد مرحلة الرشد. فقد أشارت العديد من الدراسات إلى أن القشرة ما قبل الجبهية تنضج ببطء نسبياً، مع استمرار تطور بعض أجزائها حتى مرحلة المراهقة والرشد، مما ينعكس على قدرة الأفراد في أداء مختلف المهام المعرفية. في هذا السياق، يتبين أن الوظائف التنفيذية تنمو تدريجياً لدى الأطفال، مثل الذاكرة العاملة والكف والمرونة المعرفية، ويحدث هذا بالتوازي مع نضج الفص الجبهي الذي يؤدي وظائفه منذ مرحلة الرضاعة. علاوة على ذلك، اتضح أن هناك العديد من البنيات العصبية في الدماغ التي تساهم في اشتغال الوظائف التنفيذية، ويعزى التموضع العصبي لهذه الوظائف بشكل أساسي إلى القشرة ما قبل الجبهية والتي تعتبر المنطقة المركزية المرتبطة بها، إذ تتلقى الإشارات من مناطق قشرية مختلفة وغيرها من المناطق العصبية. من هنا، فالتعرف على المراحل العمرية لنمو الوظائف التنفيذية يعد عنصراً أساسياً لفهم كيفية الاشتغال التنفيذي أثناء أداء المهام وحل المشكلات. كما يساهم هذا الفهم في تحديد وتطوير برامج تربوية ومعرفية أكثر دقة تهدف إلى التأهيل المعرفي لهذه البنيات العصبية.

الكلمات المفتاحية

الوظائف التنفيذية، النمو، التموضع العصبي، الفص الجبهي.

المقدمة:

حظي مجال علم النفس العصبي المعرفي Neuropsychologie cognitive باهتمام واسع، خاصة فيما يتعلق بدراسة الوظائف التنفيذية Executive Functions (Lezak, 1982; Pribram, 1973) وتطورها. في هذا السياق، يتناول هذا المقال التطور العصبي والنمائي لهذه الوظائف، بالإضافة إلى الإصابات على مستوى البنيات العصبية في الدماغ التي تؤثر على الأداء التنفيذي. ويعود تتبع تطورها إلى النصف الثاني من القرن التاسع عشر، عندما تم إحراز تقدم كبير في فهم الجهاز العصبي المركزي (Müller & Kerns, 2015). ووفقا لما ذكره كل من مولر Müller وكيرنز Kerns (2015) كان علماء النفس الفيزيولوجي العصبي في مقدمة الجهود المبذولة لفهم وتحديد مواقع الوظائف التنفيذية في القشرة قبل الجبهية. إذ تشمل الوظائف التنفيذية بشكل مجموعة متنوعة من السيرورات المعرفية الافتراضية، مثل التخطيط، الذاكرة العاملة، الانتباه، الكف، المراقبة الذاتية، التنظيم الذاتي، والتي تتمظهر في البداية على مستوى مناطق القشرة الجبهية والفصوص الجبهية (Goldstein & Naglieri, 2014, p. 3). أضاف جولدشتاين Goldstein وناجلييري Naglieri (2014) أنه على الرغم من تعريف الوظائف التنفيذية لأول مرة في السبعينيات، فقد تمت مناقشة مفهوم آلية التحكم منذ أربعينيات القرن التاسع عشر.

من هذا المنطلق، تعد حالة فينيس كاج Phineas Gage من أبرز الدراسات المتعلقة بالوظائف التنفيذية (Pribram, 1973). منذ وقت مبكر، تم تحديد إحدى النتائج الرئيسية التي نتجت عن الضرر الذي لحق بالقشرة ما قبل الجبهية (prefrontal cortex)، والمتمثلة في التغيرات في الشخصية، كما أوضح ذلك هارلو Harlow (1868) في دراسته لحالة كاج Gage، العامل في السكك الحديدية الذي تعرض لإصابة في القشرة قبل الجبهية (Müller & Kerns, 2015). تتجلى أهمية هذه الحالة التاريخية في الحادث الذي وقع في عام 1840، في فهم الآثار الناتجة عن اختراق القضيب الحديدي لجمجمة كاج Gage في منطقة الفص الجبهي (Goldstein & Naglieri, 2014). وقد أشار كل من جولدشتاين Goldstein وناجلييري Naglieri (2014) نقلا عن ابريبرام Příbram (1973) إلى أنه بعد فترة من العلاج، ظهرت تغيرات واضحة في سلوك كاج Gage على مستوى شخصيته، ثم وصفت حالة Gage أنه يعاني من الحرمان وفرط النشاط، مما يشير إلى نقص في التحكم Control، وهو أمر شائع للأفراد الذين يعانون من تلف على مستوى القشرة قبل الجبهية (Goldstein & Naglieri, 2014). إضافة إلى ذلك، يشير جولدشتاين Goldstein وناجلييري Naglieri (2014) إلى أنه بحلول الخمسينيات من القرن الماضي، أصبح علماء النفس وعلماء الأعصاب أكثر اهتماما بفهم دور القشرة قبل الجبهية في السلوك الذكي (Goldstein & Naglieri, 2014). وفي هذا السياق، قدم شيفرين Shiffrin وشنايدر Schneider (1977) فكرة أن الانتباه الانتقائي يرتبط بالوظائف التنفيذية (Goldstein & Naglieri, 2014). في عام 1975، صاغ عالم النفس مايكل بوسنر Michael Posner مفهوم "التحكم المعرفي" في فصل من كتاب "الانتباه والتحكم المعرفي"، واقترح أن هناك فرعا تنفيذيا منفصلا لنظام الانتباه مسؤول عن تثبيت الانتباه على حدود منتقاة من المحيط (المرجع السابق نفسه، ص. 3).

ترتبط منهجية البحث المتبعة في هذا المقال، بداية من التأصيل التاريخي للوظائف التنفيذية من داخل علم النفس العصبي المعرفي، ثم الانتقال إلى مناقشة المسار النمائي للوظائف التنفيذية وتموضعها العصبي، حيث يتجلى تطور الوظائف التنفيذية من مرحلة

الولادة إلى مرحلة الرشد، بالتوازي مع تطور البنيات العصبية في الدماغ والمناطق المسؤولة عن كل وظيفة. ومن خلال ما تم عرضه، تطرح عدة تساؤلات هامة: كيف تتطور الوظائف التنفيذية عبر المراحل العمرية؟ وما هي الوظائف التنفيذية التي تظهر أولاً؟ وأي المناطق الدماغية مسؤولة عن كل وظيفة؟ وما طبيعة الإصابات التي تنتج على مستوى البنيات الدماغية؟

1. تعريف الوظائف التنفيذية

تشير الوظائف التنفيذية عموماً إلى الوظائف "ذات المستوى الأعلى" التي تنطوي على مراقبة السيرورات المعرفية "ذات المستوى الأدنى" وتنظيمها وتوجيه السلوك نحو الهدف (Alvarez & Emory, 2006). ومن هنا، بدأ الاهتمام المتزايد في السنوات الأخيرة بالوظائف التنفيذية، ولكن لا تزال هناك أسئلة كثيرة تتعلق بعناصر الوظائف التنفيذية وكيفية قياسها وتم تعريف الوظائف التنفيذية أيضاً على أنها بناء متعدد الأبعاد لفيث السيرورات المعرفية العليا، التي تراقب عدد متنوع من الوظائف المعرفية والانفعالية والسلوكية وتنظيمها. حيث يلعب النظام الجبهي في الدماغ دوراً مهماً في تحديد اشتغال الوظائف التنفيذية، فقد شملت العديد من الأبحاث دراسة تأثير الأنظمة الجبهية على الوظائف التنفيذية ذات المستوى العالي، من خلال فحص الأفراد الذين يعانون من تلف في الفص الجبهي (Vriezen & Pigott, 2002). ورغم التقدم الكبير في هذا المجال، لا يزال النقاش مستمراً بشأن ما إذا كانت الوظائف التنفيذية تمثل بنية أحادية أم أنها تتكون من مكونات متعددة الأبعاد (نقلاً عن: Vriezen & Pigott, 2000).

بشكل عام، تُعرف الوظائف التنفيذية على أنها مجموعة من السيرورات المتصلة التي تراقب وتوجه الأداء المعرفي والانفعالي والسلوكي وتنظمها (Gioia et al., 2002). وتشمل الأبحاث المتعلقة بالوظائف التنفيذية مهارات مثل التوقع، التخطيط، التنظيم، مراقبة العمليات، والمرونة المعرفية، مع الحفاظ على هذه العمليات في الذاكرة العاملة (Gioia et al., 2002). يجمع الباحثون على أن الوظائف التنفيذية العليا تتمثل في توجيه عدد من العمليات ذات الطبيعة المعرفية والسلوكية والانفعالية، ومراقبتها وضبطها (El Houari & Zarhouch, 2022). إنها مفهوم شامل يستخدم لمجموعة متنوعة من السيرورات المعرفية الافتراضية، بما في ذلك التخطيط، الذاكرة العاملة، الانتباه، الكف، المراقبة الذاتية، التنظيم الذاتي، التي تعمل على تنفيذها باحات الفص الجبهي (Goldstein & Naglieri, 2014). إجمالاً، تم التركيز في بعض الدراسات على التعبير عن الوظائف التنفيذية من خلال ثلاثة مكونات رئيسية تُعتبر الأكثر افتراضاً، وهي وظائف الذاكرة العاملة، التحكم (الكف)، والمرونة المعرفية (Miyake et al., 2000). بالإضافة إلى هذه المكونات، يُعتبر التخطيط أيضاً أحد العناصر الهامة للوظائف التنفيذية، ويظهر بشكل واضح في مرحلة عمرية متأخرة (Anderson, 2002). يُدرج هذا المكون ضمن عدد من النماذج المعرفية، بما في ذلك نموذج لوريا (Luria 1983) الذي يوضح أن العمليات التنفيذية المذكورة ضرورية لتركيب الحوافز الخارجية، وضع الأهداف والاستراتيجيات، التحضير للفعل، والتحقق من تنفيذ الخطط والإجراءات (نقلاً عن: Anderson, 2002).

تشمل المهارات التنفيذية القدرة على التخطيط المسبق وتنظيم السلوك عبر الزمان والمكان بهدف تحقيق الأهداف، مع توفير المرونة المعرفية في الاستراتيجيات والتكيف مع الظروف الجديدة. بناءً على ذلك، تقوم الوظائف التنفيذية على مهارات مثل التخطيط، اتخاذ القرار، تحديد الأهداف، والمراقبة المستمرة للسلوك، إضافة إلى الوعي الذاتي، التعاطف، والحساسية الاجتماعية (El Houari & Zarhouch, 2022).

(Zarhbouch, 2022). وبالتالي، تتضمن الوظائف التنفيذية مكونات محددة مثل التوقع، التخطيط، التنظيم، بدء خطط العمل، منع التشبث والتدخل، مراقبة العمليات، والحفاظ على الأهداف في الذاكرة العاملة (Gioia et al., 2002)، وتختلف تعريفات هذه الوظائف كونها توجه وظائف المراقبة المعرفية عن الوظائف المعرفية الأساسية مثل اللغة، البصرية المكانية، وسيرورات الذاكرة (Gioia et al., 2002).

من جهة أخرى، إن مفهوم الوظائف التنفيذية هو مفهوم شامل، يعبر عن مجموعة من السيرورات المعرفية المفترضة، بما في ذلك التخطيط، الذاكرة العاملة، التحكم، المراقبة الذاتية، التنظيم الذاتي، والبدء (Goldstein & Naglieri, 2014). ووفقاً لروزاريو Rosario وآخرين (2015)، فإن "الوظائف التنفيذية هي مجموعة من العمليات المعرفية المحددة التي تمكن من توجيه المعرفي والانفعالي، بما في ذلك الوظائف الذهنية" (Rosario Rueda et al., 2015, p. 1). بناءً على هذه الرؤية، خلص الهواري El Houari وزغبوش Zarhbouch (2022) إلى أن الوظائف التنفيذية هي عمليات ذهنية عالية المستوى، ضرورية لإنجاز السلوك ومراقبة وضبط الوظائف المعرفية، السلوكية، والانفعالية، وتنفيذها، حيث يعتمد اشتغالها على الفص الجبهي، مع ترابطه مع مناطق أخرى من البنيات القشرية وتحت القشرية (El Houari & Zarhbouch, 2022). ورغم الجهود المستمرة لفهم مكونات الوظائف التنفيذية، لا تزال بعض القصورات تشوب هذه المكونات. من أبرزها قصورات الوعي الذاتي، إضافة إلى الاختلافات الكبيرة بين الباحثين بشأن مكونات الوظائف التنفيذية وعددها. علاوة على ذلك، مع تقدم الأبحاث في هذا المجال، تزايدت الأدلة التي تشير إلى تأثير العوامل الوراثية على أنظمة الانتباه العصبية، مع وجود دراسات تبين ضعف المهارات المعرفية، بما في ذلك الوظائف التنفيذية، في ظل العوامل البيئية مثل الأسرة والوضع الاجتماعية-الاقتصادية (Rosario Rueda et al., 2015).

2. المسار النمائي للوظائف التنفيذية

بعد هذه الإحاطة المختصرة حول تعريف الوظائف التنفيذية، سيتم الانتقال إلى مناقشة التطور النمائي لهذه الوظائف، بدءاً من مراحل الطفولة المبكرة وصولاً إلى مرحلة الرشد، حيث يرتبط هذا التحليل بتسليط الضوء على كيفية تطور هذه الوظائف عبر الزمن. وعند الحديث عن هذا التطور، يُلاحظ أن نضج القشرة ما قبل الجبهية يحدث ببطء نسبياً، مع استمرار تطور بعض الأجزاء منها خلال فترة المراهقة حتى مرحلة الرشد. وهذا له تأثيرات واضحة على مجالات مثل التربية التي ما زالت في بداية استكشاف تأثيرات هذا التطور (gilbert et burgers, 2008). وفي دراسة حول الوظائف التنفيذية، أفاد كل من رومين Romaine ورينولدز Reynolds (2005) أن هذه الوظائف تظهر مسارات نمو مختلفة، بما في ذلك التخطيط والطلاقة اللفظية، حيث تستمر هذه الوظائف في النمو خلال المراهقة المتأخرة والرشد المبكر (Taylor et al., 2015). بشكل عام، تنمو الوظائف التنفيذية تدريجياً، وهي من بين الوظائف الذهنية الأخيرة التي تتصل بنضج الدماغ. هذا النمو للوظائف التنفيذية يصبح أكثر تعقيداً بسبب الاختلافات التي تظهر بين مراحل النمو المعرفي على مدى الحياة. وعلى الرغم من التطور الذي يحدث، أظهرت الدراسات أن الأطفال وكبار السن يعانون من ضعف نسبي في أداء الوظائف التنفيذية مقارنة بالشباب في مراحل النمو المبكر، مما يعكس تبايناً في القدرة على تنفيذ المهام المعرفية والسلوكية المرتبطة بهذه الوظائف (Cristofori et al., 2019, p. 109).

من ناحية أخرى، الأطفال الذين تتراوح أعمارهم بين ما قبل سن التمدرس وما فوق، وخاصةً الأطفال في مرحلة ما قبل التمدرس، يظهرون قدرة أكبر على التفكير في الماضي والتخطيط للمستقبل. كما أن لديهم القدرة على تمثل أوجه متعددة للمشكلة واختيار الحل الأفضل للفعل (Jurado & Rosselli, 2007). يبدو أن الوظائف التنفيذية تتطور بشكل تسلسلي خلال مرحلة الطفولة، وأن هذا التطور يتزامن مع الطفرات في نضج الفصوص الجبهية (Jurado & Rosselli, 2007). وقد حدد أندرسون فترات النمو هذه ما بين الولادة والسنة الثانية ومن 7 إلى 9 سنوات، والمرحلة الأخيرة من المراهقة بين 16 و 19 سنة (Jurado & Rosselli, 2007). نبني هذا على منظور علم النفس العصبي النمائي الذي يرى أن الفصوص الجبهية تكون غير نشطة وظيفيًا في مرحلة الرضاعة ومرحلة الطفولة المبكرة (الشرفي وزغبوش، 2020). وهذا ما أكدته لوريا (1973) من خلال إظهارها كون الوظائف التنفيذية لا تنمو حتى مرحلة المراهقة، ويرجع ذلك إلى أن الفص الجبهي لا يكتمل نضجه إلا في تلك المرحلة (الشرفي وزغبوش، 2020).

استرسالاً في تحديد نمو الوظائف التنفيذية، تمت دراسة نمو الوظائف التنفيذية لدى الأطفال الذين تتراوح أعمارهم بين 8 و 13 سنة، حيث تم استكشاف ثلاث مكونات تنفيذية وفقاً للنموذج الذي اقترحه مياك Miyake وآخرون (2000) لدى الراشدين والمتمثلة في الذاكرة العاملة، والكبح، والتحيين في الذاكرة العاملة. يبدو أن الوظائف التنفيذية الأساسية، مثل الذاكرة العاملة والتبديل، تنضج مع تقدم العمر (Lehto et al., 2003)، كما أن نمو الوظائف التنفيذية يشهد استقراراً خلال الطفولة المتوسطة، والمراهقة، والرشد المبكر (Best & Miller, 2010). في وقت لاحق، أظهرت دراسة أخرى أن التنشيط في القشرة الجبهية خلال مرحلة الطفولة والرضاعة يشير إلى بداية ظهور الوظائف التنفيذية، حيث توصلت التقارير التجريبية إلى أدلة تفيد بأن هذه المهارات التنفيذية تبدأ بالظهور منذ العام الأول من العمر (الشرفي وزغبوش، 2020). وهذا يشير إلى أن الوظائف التنفيذية تبدأ بالظهور منذ ولادة الفرد وتتخذ مساراً نمائياً مع تقدمه في العمر. كما أكد كل من جولدشتاين Goldstein وناجلييري Naglieri (2014) هذا الأمر، موضحين أن تطور الوظائف التنفيذية يتبع مساراً نمائياً بدءاً من الطفولة، حيث توجد العديد من الفترات الحرجة خلال الطفولة المبكرة، والمراهقة، والرشد المبكر (Goldstein & Naglieri, 2014).

1.2. المرحلة الأولى لنمو الوظائف التنفيذية

يشكل موضوع نمو الوظائف التنفيذية عند الطفل، محور البحث لدى العديد من الباحثين، وتشير الأبحاث إلى أن الأطفال الرضع، وفقاً لما ذكره فيكي أندرسون وآخرون (2008) يظهرون عند الشهرين من العمر علامات لفهم بسيط لإراداتهم واستكشاف الذات (El Houari & Zarhbouch, 2022). ويوضح ميلتز Meltz (2007) إلى أن الوظائف التنفيذية تظهر لدى الفرد منذ الوقت الذي يبدأ فيه بالانخراط في الإرادية. في هذه المرحلة المبكرة من العمر، يحدث توافق ملحوظ مع التغيرات في قدرات السلوك الهادف والتنظيم الذاتي، هذا التطور يبدأ منذ مرحلة الرضاعة ويستمر في التقدم تدريجياً حتى ما بعد مرحلة المراهقة (El Houari & Zarhbouch, 2022). وفي الأشهر الأولى من العمر، يُلاحظ تفاعل محدود للأطفال الرضع مع محيطهم. وفي هذا السياق، يوضح داوسن وغوير (2012) أن الأطفال الرضع يركزون على أبرز المثيرات في بيئتهم الخارجية، ويكونون مقيدون إلى حد كبير بتلك المثيرات، مما يجعلهم يظهرون سلوكيات اندفاعية نتيجةً للحدود التي تفرضها قدرتهم على السيطرة. ومع مرور الوقت، تنمو لديهم هذه القدرة، مما يسمح لهم بكف بعض

الاستجابات (El Houari & Zarhbouch, 2022). بالإضافة إلى ذلك، تشير بيانات دراسة دايمند Diamond ودوار Doar (1989) المتعلقة بمهمة تأخير الاستجابة إلى تطور القدرة المعرفية لدى الرضع، حيث يظهر أن الأطفال في النصف الثاني من السنة الأولى يصبحون قادرين على الاحتفاظ بتمثيل ذهني بسيط لفترات أطول. في حين أن الأطفال في عمر الستة أشهر يستطيعون الاحتفاظ بتمثيل لمدة قصيرة لا تتجاوز بضع ثوان، فإن هذه القدرة تتحسن مع التقدم في العمر، حيث تزداد فترة الاحتفاظ بالتمثيل في الذهن إلى أكثر من 10 ثوان عند بلوغ الطفل عمر 12 شهراً (Garon et al., 2008).

في ذات السياق، ووفقاً لأندرسون Anderson وآخرون (2008) يواجه الأطفال الرضع صعوبة في تنظيم انفعالاتهم وتأجيل المكافآت. في عمر 12 شهراً، يبدأ الأطفال في إظهار مهارات الانتباه التي تمكنهم من تمثيل الأشياء وإعادة استعراضها ذهنياً. وفي الفترة بين 14 و 18 شهراً، يظهر الأطفال قدرة متزايدة على تتبع نظرات الآخرين نحو الأشياء (El Houari & Zarhbouch, 2022). تتشكل بنية الوظائف التنفيذية من بنيات فرعية متعددة، ورغم كل هذا فإن المجمع عليه أن الوظائف التنفيذية جوهرها يتكون من الذاكرة العاملة والمرونة والكف (Diamond, 2013, p. 152). في مقابل ذلك، يعتبر دايمند Diamond (2013) "أن الوظائف التنفيذية الأساسية هي الكف (كف الاستجابة، الضبط الذاتي، ومقاومة الإندفاعية)، ومراقبة التداخل (الانتباه الانتقائي والكف المعرفي)، والذاكرة العاملة والمرونة المعرفية" (p.153). على هذا الأساس وتبعاً لنموذج باركلي Barkley (1997) تعد وظيفة الكف أولى الوظائف التنفيذية التي تبدأ في النمو بعد فترة قصيرة من الولادة، تليها الذاكرة العاملة غير اللفظية، والتنظيم الذاتي، استدخال الكلام، وأخيراً إعادة التركيب (El Houari & Zarhbouch, 2022). بالإضافة إلى الانتباه والتنظيم الذاتي (Goldstein & Naglieri, 2014).

وفي نفس الصدد، أشار عدد من الباحثين، وفقاً لأندرسون وآخرون (2008) أن العلامات الأولى للذاكرة العاملة والكف تبرز بين 7 و 8 أشهر من العمر، وجوانب منها تديرها القشرة قبل الجبهية الظهرية والمدارية (El Houari & Zarhbouch, 2022). وإضافة إلى ذلك، يؤثر نوع التمثيل على المدى الطويل، والذي يمكن للرضع الاحتفاظ به في الذهن، وذلك من خلال مهام تأجيل الإستجابة. وقد وجد الباحثون أن الرضع الذين تتراوح أعمارهم بين 7 و 14 شهراً يمكنهم تحمل تأجيل الاستجابة (Garon et al., 2008). وبالمثل، توصل كل من بيلفري Pelphrey وآخرون (2004) إلى أنه في سن 12 شهراً، يتمكن الرضع في مهام تأجيل الاستجابة من التعرف على الأشياء عند وجود أربعة مواقع محتملة، مما يشير إلى نمو في قدرة الذاكرة في الاحتفاظ بعدد أكبر من العناصر في الذهن (Garon et al., 2008). على عكس استجابة الكف والذاكرة العاملة واللذان يظهران في سن مبكرة، تبرز وظيفة المرونة المعرفية في وقت لاحق، حيث تظهر قدرة على التبديل السريع بين استجابتين بسيطتين في سن يتراوح بين 3 و 4 سنوات. ومع ذلك، يجد الأطفال صعوبة في التبديل عندما تصبح القواعد أكثر تعقيداً (Anderson, 2002). تبين حسب زيلازو zelazo وآخرون (2003) أن معظم الأطفال الذين تتراوح أعمارهم بين 3 و 4 سنوات أنهم أخطأوا في المهمة، ومع ذلك فإن القدرة في التعامل مع مهام التبديل المتعددة الأبعاد تتطور بشكل كبير بين 7 و 9 سنوات من العمر (Anderson, 2002; Zelazo et al., 2003).

2.2. مرحلة ما قبل التمدرس

تعتبر مرحلة ما قبل التمدرس الفترة التي يكون فيها الأطفال نظريات وهذه النظريات ساذجة، حيث يسعى الأطفال خلالها للتعلم واكتساب المعارف. ولهذا فإن هذه المرحلة تتطلب من الطفل تطوير مهارات معرفية وسيرورات Processes تساعد على ذلك. وفي هذا الإطار، يشير أندرسون Anderson وآخرون (2008) إلى النمو السريع التي تشهده الوظائف التنفيذية في عمر ما قبل التمدرس، حيث تم توثيق بداية ظهور التحكم الانتباهي بين سن 4 و 5 سنوات (الشرفي وزغبوش، 2020). كما تتحسن قدرات الكبح بشكل ملحوظ في هذه المرحلة، وبالتحديد في سن الأربع سنوات، فيظهر الطفل المهارات الأساسية الخاصة بالكف. في هذه السن، يصبح الطفل أكثر قدرة على أداء مهام الكف. ويستمر هذا المكون من الوظائف التنفيذية في النمو بشكل تدريجي ومتواصل بين سن 5 و 8 سنوات (Best et al., 2009). في دراسة أخرى حول نمو الوظائف التنفيذية، يرى بوسنر Posner وروتبانت Rothbant أن النظام الانتباهي المركزي يعد العنصر الأساسي وراء التغيرات المهمة التي تحدث في التحكم الانتباهي على مستوى الوظائف التنفيذية بين سن 2 و 6 سنوات (Garon et al., 2008). وفي نفس الإطار، قام سميت Smith وآخرون (2004) بإجراء مقارنة بين الأطفال من 3 إلى 7 سنوات على مهام القرع لقياس مجموعة الوظائف التنفيذية بما في ذلك الذاكرة العاملة، التخطيط، المرونة المعرفية والتحكم الانتباهي. وأظهرت النتائج أن الوظائف التنفيذية تأخذ مسارات نمائية مختلفة لدى هذه الفئة العمرية، حيث بدأ ظهور الكف لاستجابات التحكم الانتباهي بشكل نسبي في سن الخامسة، مع تحسن سريع في تحويل المهام بين ثلاث وخمس سنوات، واستمر التحكم الانتباهي في النضج. بالإضافة إلى ذلك، أظهرت الذاكرة العاملة نموا تدريجيا من 3 إلى 7 سنوات، بينما لم تظهر مهارات التخطيط إلا نادراً قبل سن الخامسة، وبدأت في الظهور بوضوح بين سن 5 و 7 سنوات (الشرفي وزغبوش، 2020).

تشير الدراسات التي أجراها إسبي Espy وآخرون (2008) على الأطفال في مرحلة ما قبل التمدرس إلى أن اختبارات تقييم الكف والاحتفاظ بالنشط في الذاكرة العاملة تظهر عدم وجود تمييز واضح بين هذين العاملين خلال هذه المرحلة من النمو، خصوصاً في عمر 3 سنوات (Chevalier, 2010, p. 156). فيما يتعلق بتقييم قابلية الاحتفاظ بالمعلومات في الذهن خلال مدى تأجيل المهام، مثل المهام الفنولوجية والمكانية الخاصة بتقييم الحلقة اللفظية والمفكرة البصرية المكانية. أظهرت النتائج أن العناصر المحتفظ بها تختلف من 3 إلى 5 سنوات. هذا ما أكدته أندرسون وآخرون نقلاً عن (الشرفي وزغبوش، 2020) حيث أشاروا إلى أن الأطفال في سن الخامسة يبدؤون في إظهار تطور ملحوظ في القدرة على الاحتفاظ بالمعلومات المعقدة ومعالجتها، مع تمييز واضح للذاكرة العاملة اللفظية والبصرية المكانية في هذا العمر. وعبر استخدام مهمة الذاكرة العاملة المكانية من الاختبار النفسي العصبي لكامبريدج تم استكشاف نمو الذاكرة العاملة، حيث لوحظ بين 5 و 8 سنوات زيادة مضطردة (الشرفي وزغبوش، 2020). وفيما يتعلق بالكف والذاكرة العاملة، فقد تبين أنهما يشهدان تطوراً كبيراً بين سن 4 و 5 سنوات، وهو ما يرافقه تطور في أداء مهام المرونة المعرفية عند الأطفال في مرحلة ما قبل التمدرس. كما يظهر الأطفال في هذه المرحلة مهارات تخطيط بسيطة بدءاً من سن الرابعة، رغم أنهم يواجهون صعوبات في تنفيذ الإجراءات المبدئية والتنظيم، لكن هذه المهارات تتطور بشكل ملحوظ بين سن 7 و 9 سنوات. وبالتالي، فإن الوظائف التنفيذية الأساسية مثل الذاكرة العاملة والكف تنمو في وقت مبكر، بينما يتبع التخطيط مساراً نمائياً أطول (Isquith et al., 2004, p. 405).

3.2. المرحلة الثالثة: موازية لسن التمدرس

أظهرت مرحلة ما قبل التمدرس أن المكونات الأساسية للوظائف التنفيذية، مثل الذاكرة العاملة والكف، تبدأ في النمو خلال السنوات الأولى من العمر، وتستمر في التطور بعد هذه المرحلة، حيث تتبع مسارًا نمائيًا مختلفًا. كما بدأ ظهور وظيفة الكف في سن ثلاث سنوات، بينما ظهرت مهارات التخطيط في سن الرابعة. في هذا السياق، سيتم تناول تطور هذه الوظائف التنفيذية في مرحلة سن التمدرس، الممتدة من سن 6 إلى 12 سنة.

الكف inhibition: تعتبر وظيفة الكف من المكونات الأساسية للوظائف التنفيذية (Miyake et al., 2000)، تبدأ في التطور بين سن 3 و4 سنوات (Zelazo et al., 2003). إلا أن الأطفال في هذه الفئة العمرية (من 3 إلى 4 سنوات) يواجهون صعوبة في أداء المهام التي تتطلب كفا، ويستمر تطورها خلال الطفولة المتوسطة (Carlson, 2005). وتشير نتائج التطور في وظيفة الكف إلى بداية تطورها بعد سن الخامسة، حيث يظهر تطور ملحوظ بأشكال مختلفة (Best & Miller, 2010, p. 1645). وفي ذات السياق، يستدل ميلر وبيست (Best & Miller, 2010, p. 1645) بدراسة أنجزها كلنبرج Kleinberg وآخرون (2001) التي أظهرت تطورا في وظيفة الكف بين سن 3 و6 سنوات، بينما لم يُلاحظ تطور كبير في سن 12 سنة. في هذا السياق، تناولت دراسة ليتنو Lehto وآخرون (2003) نمو الوظائف التنفيذية لدى الأطفال الذين تتراوح أعمارهم بين 8 و13 سنة، وتنضج وظيفة الكف مع التقدم في العمر (Miyake et al., 2000).

على عكس ذلك، قبل سن 3 سنوات، تنمو وظيفة الكف منذ الأشهر الأولى من الحياة، حيث تتنبأ بكل من تركيز انتباه الرضع في عمر 9 أشهر، والاستجابة في عمر 22 شهراً، وزيادة التحكم في الجهد في عمر 22 شهراً بمزيد من الغضب المنظم، وفي عمر 33 شهراً بمزيد من الغضب والفرح المنظمين وبضبط النفس بشكل أقوى (Kochanska et al., 2000). كما تطور أداء الأفراد في عمر ثلاث سنوات بشكل ملحوظ كدلالة على التباعد الرمزي (Carlson et al., 2005). كما يتم إكتسابها في سن 3 سنوات ونصف و6 سنوات ونصف (Cragg & Nation, 2008). وفي مقابل ذلك، إن الأطفال الذين تتراوح أعمارهم بين 9 و11 عامًا لديهم القدرة على كف الاستجابة في مرحلة مبكرة من الحركة مقارنة بالأطفال الأصغر سنًا (الذين تتراوح أعمارهم بين 5 و7 سنوات). وتظهر بوضوح في المرحلة العمرية ما بين 3 و16 سنة (Wright et al., 2003). وعلى الرغم من النمو الملحوظ في وظيفة الكف خلا مرحلة التمدرس، والذي يظهر بطرق نمو مختلفة بين الأطفال، يبقى السؤال: هل يسري هذا النمو في الكف على التطور في الوظائف التنفيذية الأخرى، من قبيل الذاكرة العاملة والمرونة المعرفية والتخطيط؟

الذاكرة العاملة working memory: إضافة إلى وظيفة الكف، تعد الذاكرة العاملة أول مكون من الوظائف التنفيذية الذي ينمو، حيث أظهرت الأدلة أن الأطفال قادرون على وضع تمثيلات بسيطة في ذهنهم خلال الأشهر الستة الأولى من العمر، وتصبح المهارات أكثر تعقيدًا مع تقدمهم في العمر، مثل تحديث المعلومات ومعالجتها (Garon et al., 2008). في هذا المسار، كشفت دراسة Gathercole وآخرون (2004) عن نمو الوظائف التنفيذية من خلال قياس الحلقة الفنولوجية، ومركز التنفيذ والذاكرة العاملة البصرية-المكانية،

حيث أظهرت نتائج الدراسة تطوراً في الأداء من سن الرابعة حتى مرحلة المراهقة. كما قدم النموذج الثلاثي للذاكرة العاملة أوجه الترابط بين الذاكرة قصيرة المدى من السن 6 سنوات فما فوق. وقد تم التحقق من نموذج الذاكرة العاملة ومساره النمائي عبر سنوات الطفولة لدى الأطفال الذين تتراوح أعمارهم بين 4 و 15 سنة (p. 187).

في ذات التوجه، تشير لوسيانا Luciana وآخرون (2005) على أن الجوانب التنفيذية للذاكرة العاملة البصرية المكانية تنمو بشكل جيد في مرحلة المراهقة، ويكون النمو واضحاً حتى سن 16 عاماً ويستمر من 18 إلى 20 عاماً. والمهام التي تنبغي متطلبات الذاكرة العاملة البصرية- المكانية واستجابة المؤجلة المكانية، لم يشير إلى تغيرات في النمو بعد السن 11 و 12 من العمر، وهذا يبين أن ذاكرة التعرف على المحفزات غير اللفظية تنضج في وقت مبكر، ويشير هذا النمط إلى أن قدرات الذاكرة غير لفظية تستقر قبل السن 9 من العمر (ص. 706-707). من جهته، أضاف بيست Best وآخرون (2009) في دراستهم أن استخدام مهام المعالجة المختلفة الأكثر تعقيداً، ومهمة البحث ذاتي الترتيب، تتفاوت من حيث تعقيد المهمة بطريقة كمية فقط، أي عدد المواقع التي قد يبحث فيها الطفل عن الرموز بين 2 إلى 8 سنوات. وقد أظهرت النتائج أن الأداء كان متكافئاً بين الأطفال الذين تتراوح أعمارهم بين 4 و 8 سنوات، والمراهقين والراشدين. ومع ذلك، ظهرت اختلافات في الأداء مرتبطة بالعمر، حيث تزايد عدد مواقع البحث مع زيادة عدد المواقع، وكان الأداء مستقرًا عند 6 سنوات مع ثلاث مواقع بحث، واستقر الأداء في سن ست سنوات من العمر، أما في أربع مواقع بحث، استقر الأداء حوالي 17 من العمر. بينما في مهام 6 و 8 مواقع بحث لوحظ وجود اختلافات في الأداء بين جميع المجموعات (p. 187).

من ناحية أخرى، ترسخ تغيرات النمو في الذاكرة العاملة لدى كل من مستوى السلوك ومستوى اشتغال الدماغ (Huizinga et al., 2006). هذا من جهة، من جهة ثانية، يضيف هويزينكا Huizinga وآخرون (2005) أنه تم الاستفادة من استخدام مهام الذاكرة العاملة الثلاثة. مع ذلك، وطبقاً للدراسات السابقة، لم يتوصل لمستوى في الأداء لدى الراشدين قبل 12 سنة (Huizinga et al., 2006, p. 2028). في هذا الصدد تدعم دراسة Nicholson نيكولسن (1981) التي تناولت مسار نمو الحلقة الفونولوجية، حيث فحصت أثر طول الكلمة على الذاكرة قصيرة المدى لدى مجموعات من الأطفال من العمر ثمان سنوات وعشر سنوات و 12 سنة. وقد أظهرت النتائج تأثيراً واضحاً لطول الكلمة لدى جميع الفئات العمرية، مع تطور في الاسترجاع مع التقدم في العمر. لكن العلاقة بين الاسترجاع والصوت الساكن، تبين أنها تبقى ثابتة، معناه أن قدرة الحلقة الفونولوجية لم تتغير خلال هذه الفترة. بالتالي، يقترح نيكولسن أن التطور في الذاكرة يحدث مع التقدم في العمر (الشرفي وزغبوش، 2020).

من خلال ما سبق عرضه، يتضح أن قدرات وظيفتين الكف والذاكرة العاملة تتشكل في السن السادسة من العمر. وفي المقابل، تبين تأخر في نمو ونضج القدرات الخاصة بالمهام الأكثر تعقيداً حتى مرحلة المراهقة. وعلى عكس مسار نمو الكف الذي يظهر تحسناً كبيراً خلال سنوات ما قبل المدرسة، متبوعاً بتحسناً خلال فترة المراهقة، تشير معظم الأدلة إلى أن مسار نمو الذاكرة العاملة خطية من مرحلة ما قبل المدرسة إلى سن المراهقة (Best & Miller, 2010, p. 1650).

المرونة المعرفية cognitive flexibility: عند الحديث عن المرونة المعرفية، لابد من الإشارة إلى مجموعة من الأبحاث والدراسات التي تناولت المفهوم. ووفقا لما ذكره سان San وآخرون (2004) فإن الكف والذاكرة العاملة مترابطان ارتباطا وثيقا، حيث يتوقع أن يكون أداء المهام أكثر تعقيدا. بالمقابل لا يرتبط التحويل بالكف أو الذاكرة العاملة أو التوقع في مرحلة ما قبل المدرسة (Best & Miller, 2010). إضافة إلى ذلك، يقترح الباحثون أن التحويل shifting قد لا يختلف عن الذاكرة العاملة والكف في هذه المرحلة العمرية، إذ يبدو أن عمليات الكف والذاكرة العاملة كأنها مرحلة سابقة للتحويل الفعال (p. 1651). من جانب آخر، لاحظت كارون Garon وآخرون (2008) أنه من الضروري أن يكون للأطفال قدرة الحفاظ على مجموعة الاستجابة في الذاكرة العاملة، ثم القدرة على كف مجموعة الاستجابة من أجل تنشيط مجموعة بديلة، قبل أن يتمكنوا من التحويل بنجاح (Garon Et Al., 2008, P. 44). وفي هذا السياق، أظهرت نتائج دراسة هوزينجا Huizinga (2006) أن أداء الذاكرة العاملة والتحويل والكف وصل إلى مستوى الرشد بين 11 و 15 سنة، بينما بعض جوانب الكف كمهمة ستروب لم تصل إلى مستوى الرشد إلا بعد السن 15 سنة. بالإضافة إلى ذلك، أشارت نتائج دراسة بيست وميلر (2010) أن اتجاهات النمو تختلف بين الذاكرة العاملة والتحويل، حيث استمرت الذاكرة العاملة في النمو إلى سن الرشد، بينما وصل التحويل إلى مستوى النضج خلال فترة المراهقة (Best & Miller, 2010, p. 1651). في مجمل القول، يتضح من قياس نمو المرونة الذهنية، عبر اتباع مسارات نمائية مختلفة قليلا، أن معالجة المعلومات والمرونة المعرفية وتحديد الأهداف، تنضج نسبيا بحلول السن 12 من العمر. على الرغم من أن العديد من السيرورات التنفيذية ليست راسخة حتى منتصف سن المراهقة أو مرحلة الرشد المبكرة (Anderson, 2002, p. 77).

يتبين مما سبق أن مسار نمو الوظائف التنفيذية في مرحلة الطفولة المتوسطة يختلف باختلاف نوع الوظيفة وأدوات القياس المستخدمة. وقد لوحظ أن وظيفتي الذاكرة العاملة والكف ظهرت في وقت مبكر، تليهما وظيفة المرونة المعرفية، وأخيرا تأتي وظيفة التخطيط التي تتحسن تدريجيا مع تقدم العمر. وهذا ما توصلت له الشريفي (2018) حيث أظهرت نتائج دراستها نوما تدريجيا في وظيفة التخطيط في المرحلة العمرية بين 7 إلى 12 سنة عبر جميع المهام التي تم استخدامها في البحث. وقد لوحظ نمو نشط لهذه الوظيفة في الفترة العمرية بين 8 و 9 سنوات من خلال استخدام اختباري المتاهة والسكريبت، وفي الفترة بين 9 و 10 سنوات باستخدام اختبار شكل ري، مع ظهور أداء شبه متقارب (الشريفي & بنعيسى، 2020).

4.2. مرحلة الطفولة المتأخرة

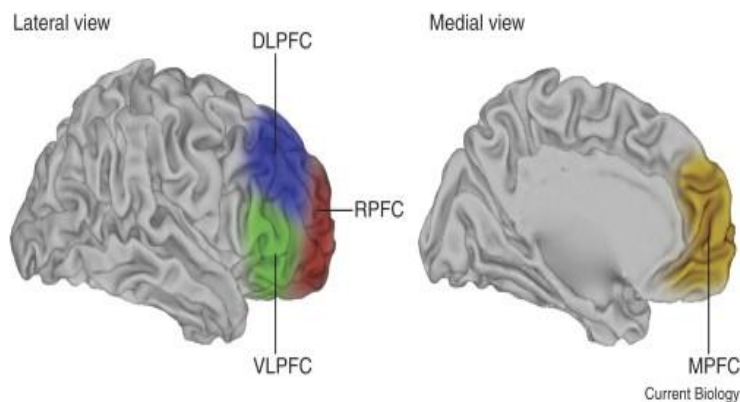
خلال هذه المرحلة العمرية من النمو، حيث يشير الشريفي Ech-Charafy وزغبوش Zaghbouch (2020) نقلا عن أندرسون وآخرون (2008) إلى أن المراهقين الذين تتراوح أعمارهم بين 13 إلى 19 سنة يظهرون تناقضا في قدراتهم على المعرفة وليس الأداء. ويتميزون بانخراطهم في سلوكيات المجازفة، كالقيام بتجربة المخدرات والتمرد ضد رموز السلطة والتركيز على تفاعلات الأقران. ولتحقيق فهم أكثر لانتقال التحكم المعرفي للسلوك، يتم قياس التغيرات المرتبطة بالعمر في سرعة المعالجة وكف الاستجابة الإرادية والذاكرة العاملة. وقد أثبتت لونا Luna وآخرون (2004) أن سرعة المعالجة وكف الاستجابة الإرادية والذاكرة العاملة، تنضج خلال مرحلة المراهقة المتأخرة وفي مرحلة المراهقة (p. 1366). وأضاف أن التحكم في كف الاستجابة الحركية الإرادي يبدأ في النضج في وقت مبكر من

الاستجابات الخاصة بالذاكرة العاملة المكانية. كما يشير أن نضج عنصر الذاكرة العاملة يكون في المرحلة العمرية 19 سنة إلى تطور متأخر نسبياً لقدرات الذاكرة العاملة. وأن التحكم الإرادي المعرفي في السلوك يستمر في النمو خلال فترة المراهقة، ويبدأ الأداء في النضج في مرحلة الرشد بين سن 14 و15 و19 سنة تقريباً بالنسبة لسرعة المعالجة وكف الاستجابة والذاكرة العاملة (Luna et al., 2004).

3. التوضع العصبي للوظائف التنفيذية

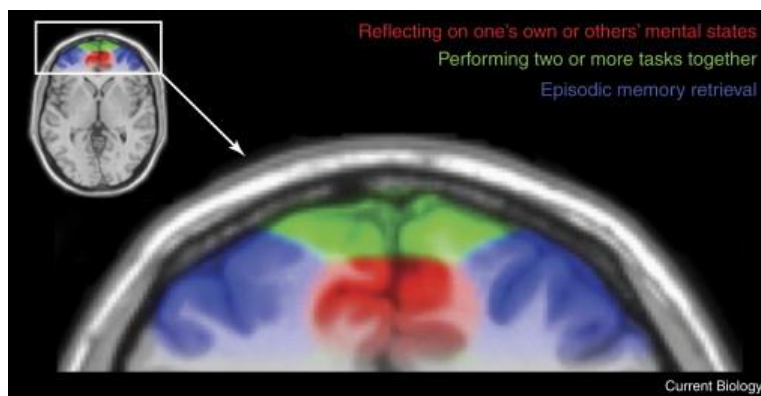
يرجع التطور العصبي للوظائف التنفيذية إلى تعريف هذا المفهوم لأول مرة في السبعينيات من القرن الماضي، رغم أن مناقشة آلية التحكم تعود إلى أربعينيات القرن التاسع عشر (1840). وتعد حالة فينيس كاج Phineas Gage من أبرز الحالات التي تم درستها والمرتبطة بالوظائف التنفيذية (Goldstein & Naglieri, 2014). وما يؤكد ذلك، أنه وفي عام 1840 نجى Phineas Gage بعد اختراق قضيب حديدي للفص الجبهي من الدماغ. في ذلك الوقت، كان البحث حول توظيف وظائف الدماغ يشير إلى أن معظم الأطباء وعلماء التشريح اعتقدوا أن كاج Gage تعرض لإصابة ثنائية في الفصين الجبهيين، مما جعله يصبح تائهاً وسريع الانفعال وغير قادر على التحكم في سلوكياته، حيث كان نشاطه مفرطاً وغير منضبط (Ratiu & Talos, 2004). دفعت هذه الحالة وغيرها من الحالات النورولوجيين إلى إجراء العديد من الدراسات حول دور الفصوص الجبهية وفهم مفهوم الوظائف التنفيذية (Goldstein & Naglieri, 2014). وكان بريبرام Pribram (1973) من أوائل من استعملوا مفهوم "التنفيذية" عند مناقشة وظيفة قشرة الفص قبل الجبهي. ومنذ ذلك الحين تم تضمين ما لا يقل عن 30 بنية أو أكثر تحت هذا المفهوم، مما جعل تعريفه صعب من الناحية الإجرائية (Goldstein & Naglieri, 2014, p. 4).

وفي سياق الحديث عن التوضع العصبي للوظائف التنفيذية، من الضروري الحديث عن البنيات العصبية المكونة للفص الجبهي، حيث يتشكل هذا الأخير من العديد من البنيات العصبية التي تتدخل في وظيفة اشتغالها. ويمكن إجمال هذه البنيات العصبية في القشرة ما قبل الجبهية الجانبية البطنية (VLPFC)، القشرة ما قبل الجبهية الجانبية الظهرية (DLPFC)، والقشرة ما قبل الجبهية الأمامية (RPFC)، القشرة ما قبل الجبهية للواجهة الوسطية (MPFC).



الشكل (1): البنية العامة للقشرة ما قبل الجبهية (نقلا عن: (Gilbert & Burgess, 2008)

تشارك القشرة ما قبل الجبهية الجانبية البطنية (VLPFC) Ventrolateral Prefrontal Cortex في المهام البسيطة نسبياً، كما تُستخدم لتخزين أنواع مختلفة من المعلومات. (Gilbert & Burgess, 2008) بالمقابل، تم ربط القشرة ما قبل الجبهية الجانبية الظهرية (DLPFC) Dorsolateral Prefrontal Cortex ليس فقط الاحتفاظ بالمعلومات التي لم تعد موجودة في بيئتنا، ولكن بمعالجة تلك المعلومات. كما تم اقتراح أن القشرة ما قبل الجبهية الجانبية البطنية قد تكون معنية بوظائف معقدة مثل وضع التخطيط للمستقبل. (Gilbert & Burgess, 2008) مع وجود منطقة دماغية تتمتع بروابط قوية مع القشرة ما قبل الجبهية الجانبية الظهرية (DLPFC) هي القشرة الجدارية الأمامية (ACC) Anterior Cingulate Cortex، وهي جزء من القشرة ما قبل الجبهية للواجهة الوسطية (Medial Surface Prefrontal Cortex). تشير إحدى النظريات المؤثرة إلى أن هذه المنطقة الدماغية تكتشف الحاجة إلى التحكم، يُفترض أن القشرة الجدارية الأمامية لا توفر في حد ذاتها تعديلاً عالي المستوى للعمليات الأقل مستوى، ولكنها تشير إلى القشرة ما قبل الجبهية الجانبية الظهرية عندما يكون هناك حاجة لمثل هذا التعديل العالي المستوى. تعتبر القشرة ما قبل الجبهية الأمامية (RPFC) أكبر منطقة فرعية ولكنها الأكثر غموضاً. ودورها في القدرات عالية المستوى، مثل الجمع بين عمليتين معرفيتين مختلفتين من أجل أداء مهمة واحدة، ومحاولة معرفة ما يفكر فيه الآخرون التفكير الذهني (نظرية الذهن)، والتفكير في المعلومات التي نسترجعها من الذاكرة بعيدة المدى.



الشكل (2): التخصص الوظيفي داخل القشرة ما قبل الجبهية الأمامية (Gilbert & Burgess, 2008).

يمثل هذا الشكل نتائج حديثة لدراسات التصوير العصبي الوظيفي التي أوضحت التنشيط داخل قشرة الفص ما قبل الجبهي الأمامي. وحتى وقت قريب كان يعتبرها الكثيرون منطقة متجانسة وظيفياً، لكن هذه النتائج تشير إلى أن أجزاء مختلفة تميل إلى التنشيط، اعتماداً على أي من هذه الفئات الثلاث من المهام التي يتم تنفيذها (Gilbert & Burgess, 2008).

بعد هذا التفصيل المتعلق بالتطور العصبي للوظائف التنفيذية، والبنيات العصبية المكونة للفص الجبهي المسؤولة عن هذه الوظائف في الدماغ، سيتم الانتقال إلى تفصيل دقيق لتطور كل وظيفة تنفيذية على حدة. انطلاقاً من التركيز على الذاكرة العاملة، ثم الانتقال إلى دراسة وظيفة الكف، وأخيراً سيتم تناول المرونة المعرفية.

1.3. الذاكرة العاملة working memory

تعد الآليات العصبية للذاكرة العاملة موضوع العديد من الدراسات، حيث أظهرت الأبحاث أن تعطيل القشرة ما قبل الجبهية يؤدي إلى عجز في أداء مهمة الذاكرة البصرية خلال النشاط العصبي. يفسر هذا أن تعطيل النشاط العصبي يحرم خلايا الفص تحت الصدغي من القدرة على الاحتفاظ بالمثيرات البصرية في الذاكرة العاملة (Fuster, 2002). يشير هذا إلى أن الذاكرة العاملة البصرية تخضع لشبكة الفصوص تحت الصدغية لدرجة من المراقبة التنفيذية من طرف القشرة قبل الجبهية (Fuster, 2002). تتوافق مجموعة من النتائج مع هذه الفكرة، إذ أن الذاكرة العاملة تتأسس على انعكاس النشاط بين الشبكات التنفيذية للقشرة ما قبل الجبهية والشبكات الحسية للقشرة الخلفية (Fuster, 2002). خلال عملية تنشيط الدماغ المرتبطة بالاختيار لوحظ أن مصطلح الذاكرة العاملة كعنصر في الفصل قبل الجبهي (النواة المذنبة الظهرية، الجزء الجبهي المداري والبطيني)، والقشرة الجدارية (الجدارية الوسيطة والداخلية). في المقابل، ارتبطت صيانة المناطق بالتنشيط الثنائي للقشرة ما قبل الجبهية، والقشرة الجدارية الجانبية الداخلية (El Houari & Zarhbouch, 2022). كما تم ربط الحصين والمناطق الترابطية الأولية والثانوية من القشرة المخية الحديثة، بما في ذلك المناطق الصدغية الخلفية والجدارية والقفوية (El Houari & Zarhbouch, 2022).

إجمالاً، تعتمد الوظائف التنفيذية بشكل رئيسي على القشرة ما قبل الجبهية والشبكات العصبية المرتبطة بها، بالإضافة إلى مناطق أخرى من القشرة مثل القشرة الجدارية والصدغية، وكذلك البنيات تحت القشرية. على سبيل المثال، تتعلق الذاكرة العاملة بمناطق مثل الأشعة الأمامية (Anterior Corona Radiata) والحزمة الطولية العليا (Superior Longitudinal Fasciculus)، وهي من المناطق الدماغية المرتبطة بالقشرة ما قبل الجبهية والتي تؤثر بشكل كبير على الاشتغال الصحيح للوظائف التنفيذية (Cristofori et al., 2019).

2.3. الكف inhibition

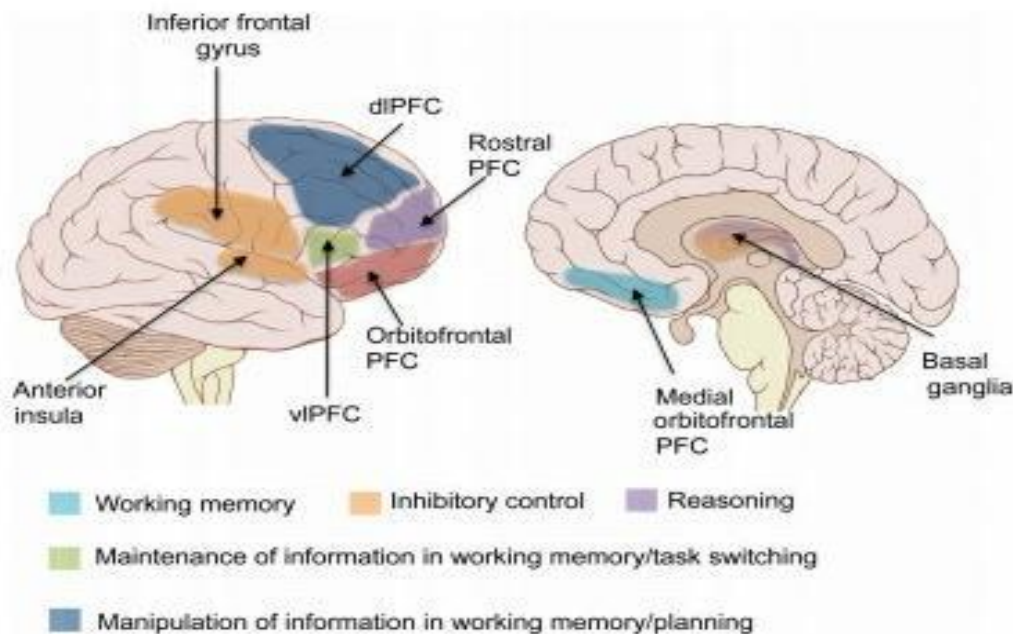
تساهم سيرورات متعددة في الأداء المعرفي، بما في ذلك إنتاج وتحديد المفاهيم، اختيار الفرضية، صيانة الانتباه، مقاومة التداخل، واستخدام التغذية الراجعة لتوجيه السلوك. كذلك تحويل الفئات والكف المواظبة على الفئات السابقة. كما وثقت (Milner 1963) تأثير خاص لإصابة القشرة الجبهية عبر اختبار فرز البطاقات بطاقة ويسكونس (WCST)، حيث يرتبط التلفيف الجبهي السفلي بالكف في الذاكرة العاملة (Cristofori et al., 2019; Houdé et al., 2011). بالإضافة إلى ذلك، هناك اتفاق عام حول فرضية أن الفص الجبهي يعد أساساً للعديد من الوظائف المعرفية العليا، من قبيل الكف أثناء مهام تداخل الاستجابة. إذ أن التنشيط الجبهي السفلي يعكس الرصد الإدراكي والبصري المكاني (Houdé et al., 2011).

علاوة على ذلك، أثبتت تفسيرات الدراسات الحديثة باستخدام التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي لدى الأطفال بالمدارس، أن الأنسبلا هي منطقة في الدماغ تنشط على وجه التحديد أثناء مهام الوظائف التنفيذية. ومن بين هذه الوظائف التنفيذية، وظيفة الكف بالإضافة إلى وظيفتي الذاكرة العاملة وتحويل الإستجابة (Houdé et al., 2011). كما أشارت أبحاث التصوير إلى أن القشرة الجبهية

السفلية اليمنى تعد منطقة متخصصة في وظيفة الكف. في دراسة أخرى متعلقة بالتصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي لتحديد المناطق التي يتم تنشيطها أثناء حجب الاستجابة الحركية السريعة، تم تحديد هذه الباحات في النصف الأيمن من الدماغ، وشملت اللفيف الجبهي السفلي والوسيط، الباحة القشرية للمبية، الأنسلا الأمامية، والفصل الجداري العلوي (Cristofori et al., 2019).

3.3. المرونة المعرفية cognitive flexibility

يرتبط التحديد العصبي للمرونة المعرفية بعدد من المناطق في الدماغ، بشكل مشابه للكف. وقد أظهرت العديد من الدراسات أن الإصابات في باحات الفص قبل الجبهي تؤدي إلى عجز في أداء مهام المرونة المعرفية. على سبيل المثال، أظهرت الدراسات أن التلف في القشرة الجبهية المدارية (OFC) يضعف الانعكاسية في التعلم، ولكن لا يؤثر بشكل كبير على تحويل الانتباه (Cristofori et al., 2019). من خلال عملية مسح الإصابات، تبين أن السيرورات المتقاربة تعتمد على شبكة مشتركة من المناطق الجبهية والصدغية والجدارية. وكشفت بعض التفسيرات التباين الواضح بخصوص المرونة المعرفية الناتج عن تلف محدد على مستوى التلفيف الصدغي العلوي، وهي منطقة تعرف بدعم الاستبصار والتعرف على العلاقات الدلالية الجديدة (Cristofori et al., 2019, p. 202). أيضا، في دراسة Wager وآخرون (2004) أسفرت نتائجها على أن هناك سبع مناطق في الدماغ، خاصة في القشرة، من بعد ما تم تنشيطها لأجل دراسة تحويل الانتباه من مختلف الأنواع. وشملت هذه المناطق على حد سواء المنطقة الخلفية (الجدارية والقفوية) والمناطق الجبهية، وأيضا المناطق الجبهية الأمامية، بما في ذلك القشرة قبل الجبهية الظهرية، الأنسلا الأمامية، والفص الجداري (p.1685).



الشكل (3): البنيات العصبية المرتبطة بالوظائف التنفيذية المختلفة بناءً على دراسات التلف و/أو التصوير الدماغي (نقلا عن: (Cristofori et al., 2019).

بشكل عام، تُعد القشرة ما قبل الجبهية (PFC) واحدة من المناطق الرئيسية المرتبطة بأداء الوظائف التنفيذية. تستقبل هذه القشرة المعلومات من شبكة واسعة من المناطق القشرية الأخرى، مثل المناطق الجدارية والصدغية، بالإضافة إلى الحصين والقشرة الحزامية، والمادة الرمادية، والمهاد، والنواة البطينية الظهرية. كما تقوم القشرة الأمام الجبهية بإرسال إشارات إلى النواة البطينية الظهرية، وكذلك إلى اللوزة ونواة الحاجز وقشرة ما تحت المهاد (Cristofori et al., 2019). تلعب القشرة الأمام الجبهية دورًا مهمًا في تنظيم السلوك الانفعالي من خلال التحكم من الأعلى إلى الأسفل في الجزء القاعدي للوزية (BLA). كما تتيح هذه الإشارات للقشرة الأمام الجبهية تنشيط القشرة للوزية، وخلايا اللوزية العصبية، والحصين بشكل انتقائي. بالإضافة إلى ذلك، ترتبط القشرة الأمام الجبهية المدارية بضعف في أداء الوظائف التنفيذية (Cristofori et al., 2019).

بعد تحديد تموضع البنيات العصبية في الدماغ وعلاقتها بالوظائف التنفيذية، تبرز أهمية دراسة التأثيرات الناتجة عن التلف الدماغي على الأداء التنفيذي. لذلك، سيتناول المحور التالي الآفات التي قد تصيب البنيات العصبية في الدماغ. وقد أشار كل من ستيس Stuss وبيرسون Berson إلى أن الدماغ، وبخاصة الفص الجبهي، هو المسؤول عن أداء هذه المهارات التنفيذية، حيث يُعتبر التلف في القشرة ما قبل الجبهية السبب الرئيسي الذي يؤدي إلى التأثير على هذه الوظائف (Anderson, 2002).

4. المسار النمائي للوظائف التنفيذية والآفات الدماغية

يُعتبر التلف في القشرة ما قبل الجبهية من العوامل الرئيسية التي تؤثر بشكل كبير على الأداء التنفيذي. وقد تزايد الاعتراف بتأثير إصابات الدماغ الصادمة لدى الأطفال على هذه الوظائف، التي تعبر عن القدرة المعرفية المتقدمة في تنظيم المهارات والقدرات ذات المستوى الأدنى. إذ تؤدي هذه الإصابات إلى تدهور البنية العصبية المسؤولة عن هذه الوظائف، نتيجة للآفات والإصابات المنتشرة في مناطق الدماغ المعنية (Levin & Hanten, 2005). وأضاف ليفين Levin وهانتن Hanten (2005) تشمل هذه الوظائف التنفيذية التي تم دراستها الذاكرة العاملة، الكف، والسيرورات الأكثر تعقيداً، مثل اتخاذ القرارات، الدافعية، والضبط الذاتي. مما يستدعي ضرورة البحث عن أساليب لإعادة تأهيل Rehabilitation هذه الوظائف. في ذات السياق، أنجزت العديد من الأبحاث للتحقق من آثار إصابات الدماغ الصادمة على الوظائف التنفيذية، وخصوصاً الذاكرة العاملة لدى الأطفال، حيث توصل ليفين Levin وآخرون (2002) إلى كون إصابات الدماغ الصادمة تؤدي إلى ضعف الأداء في الذاكرة العاملة والكف لدى الأطفال. كما يعاني الأطفال المصابون بإصابة الرأس المغلقة (Closed Head Injury) في سن التمدرس ضعفاً في الأداء خلال إنجاز المهام المعقدة التي تتطلب تدخل الذاكرة العاملة. ويتمظهر لدى الأطفال الناجون من إصابات الرأس المغلقة المتوسطة أو الشديدة في مرحلة الطفولة عجز مستمر في الذاكرة العاملة مما يحد من مساحة العمل الحسابية المطلوبة للعديد من المهام المعرفية (Roncadin et al., 2004).

أثناء فحص السيرورات التنفيذية مثل الذاكرة العاملة، الكف والتحويل لدى الأطفال الصغار الذين تعرضوا لإصابات دماغية صادمة، يظهر أن الأطفال المصابين بإصابات دماغية صادمة من متوسطة إلى شديدة قد سجلوا درجات منخفضة بشكل ملحوظ في مؤشرات الذاكرة العاملة والتحكم الكابح. يُلاحظ أن معدل تطور الذاكرة العاملة والكبح المثبط يتزايد بشكل حاد خلال سنوات ما

قبل المدرسة، في حين أن القدرات المتعلقة بالتحويل تظهر زيادة أقل عبر الفئات العمرية. وبناءً على ذلك، تم التوقع بأن المهارات التي تتطور بسرعة خلال هذه المرحلة ستكون أكثر عرضة للاضطراب نتيجة لإصابات الدماغ (Ewing-Cobbs et al., 2004). ووفقاً لـ ليفن Levin وآخرون (2004) تم ملاحظة تدهور في قدرات الذاكرة العاملة بعد السنة الأولى في بعض الأحيان، خاصة في الإصابات الشديدة (نقلاً عن: (Roy, 2008)).

فيما يتعلق بالكف، أظهرت الأبحاث الحديثة أن الأطفال الذين يعانون من إصابات دماغية أو الذين تم تشخيصهم باضطراب نقص الانتباه مع أو بدون فرط النشاط (ADHD) يواجهون صعوبة في القدرة على كف الاستجابة. حيث يعانون من عجز ملحوظ في التحكم في الاستجابات المندفعة، مما يؤثر على قدرتهم على تنظيم سلوكهم واتخاذ القرارات المناسبة في المواقف المختلفة (Konrad et al., 2000). ووفقاً لـ Konrad وآخرون (2000) في المرحلة العمرية ما بين 8 و12 سنة، إن طوارئ المكافأة تؤثر بشكل مختلف على المجموعات المختلفة، حيث تساهم في تطور أداء الأطفال المشخصين باضطراب فرط النشاط ونقص الانتباه، لكنها أقل فعالية في تطور كف الاستجابة لدى الأطفال المصابين بإصابات دماغية صادمة. وعلى عكس ذلك، غالباً ما يُظهر الأطفال الذين يتعرضون لإصابات الدماغ الصادمة Traumatic Brain Injuries إعاقات معرفية بعد الإصابة، والتي يتعافى بعضها بمرور الوقت (Leblanc et al., 2005). وتظهر الأبحاث تطوراً تدريجياً في كف الاستجابة لدى المصابين بإصابات الدماغ الصادمة لدى الأطفال في المرحلة العمرية ما بين 5 و16 سنة، مع تعافٍ أكبر للأطفال الأصغر سناً، بينما لم تتنبأ خصائص الإصابة أو اضطراب نقص الانتباه وفرط النشاط قبل الإصابة بالعجز الأولي أو التعافي (Leblanc et al., 2005).

على مستوى المرونة المعرفية، أظهرت دراسة حول العلاقة بين عمر الإصابة، موقع الآفات العصبية، وقياسات الوظائف التنفيذية بعد إصابة الدماغ الصادمة لدى الأطفال بين 5 و17 سنة، أن الإصابة في مرحلة عمرية أصغر تشكل خطراً أكبر على حدوث اضطرابات في الوظائف التنفيذية. كما تشير النتائج إلى أن العلاقة بين المناطق الدماغية غير الجبهية والوظائف التنفيذية توضح أن المحتوى المعرفي المحدد الذي يتم معالجته عبر الفصين الجداري والزمني قد يؤدي إلى عجز في السيرورات المعرفية الأساسية للأداء الفعال في الوظائف التنفيذية. علاوة على ذلك، يُحتمل أن يكون الارتباط بين إجمالي عدد الآفات والوظائف التنفيذية مرتبطاً بالتجزئة والعجز في الأنظمة الجبهية الدماغية تحت القشرية، إذ يعزز التأثير السلبي للإصابات على القدرة التنفيذية (Slomine et al., 2002). وعلاوة على ذلك، أظهر Levin وآخرون (2001) تفاعلاً بين العمر، فترة المتابعة، وشدة الإصابة، حيث تبين أن عملية التعافي من الطلاقة اللفظية كانت أبطأ بعد إصابة رأس شديدة في الأطفال الأصغر سناً مقارنةً بإصابة رأس شديدة في الأطفال الأكبر سناً أو إصابة رأس خفيفة في الأطفال الأصغر سناً. كما أظهرت النتائج وجود تفاعل سلبي بين الآفة الجبهية اليسرى والعمر وفترة المتابعة، مما أدى إلى تأثير سلبي أكبر على الطلاقة اللفظية في الأطفال الأكبر سناً. بالمقابل، لم يظهر تأثير الآفة الجبهية اليمنى تأثيراً ملحوظاً بالعمر.

وعليه، تؤثر إصابات الدماغ الصادمة في القشرة ما قبل الجبهية بشكل كبير على الوظائف التنفيذية للأطفال، مثل الذاكرة العاملة، الكف، واتخاذ القرارات. تؤدي هذه الإصابات إلى تدهور قدرات تنظيم المهارات المعرفية المتقدمة، مما يعيق أداء المهام المعقدة. أظهرت

الدراسات أن الأطفال المصابين بإصابات دماغية من متوسطة إلى شديدة يعانون من ضعف في الذاكرة العاملة والكف، وتستمر هذه التأثيرات حتى بعد التعافي الجزئي. كما يرتبط ضعف كف الاستجابة بزيادة أعراض اضطراب نقص الانتباه وفرط النشاط. بالإضافة إلى ذلك، يؤثر موقع الإصابة الدماغية في شدة التدهور الوظيفي، حيث تزداد المخاطر في الأعمار الأصغر.

خلاصة

إن دراسة الوظائف التنفيذية أصبحت تشكل اهتمامًا متزايدًا في علم النفس، حيث تُعد مجالًا علميًا غنيًا لفهم تطورها وتموضعها العصبي. وقد تم تعريف هذا المفهوم علميًا في السبعينيات من القرن الماضي، حيث وُصف على أنه الوظائف "ذات المستوى الأعلى" التي تتضمن مراقبة وتنظيم السيرورات المعرفية "ذات المستوى الأدنى" وتوجيه السلوك نحو الهدف، وتشمل مهارات مثل التخطيط، والذاكرة العاملة، والكبح، والمرونة المعرفية. وتعرف هذه الوظائف نموًا وتطورًا خلال المراحل العمرية المختلفة. وقد تم التأكيد على أن نموها يبدأ من الولادة، مرورًا بمرحلة المراهقة، ويستمر حتى مرحلة الرشد، حيث تتطور تدريجيًا.

بناءً على ذلك، شكل الاهتمام بنمو الوظائف التنفيذية وتحديد التموضع العصبي موضوعًا رئيسيًا في الدراسات العصبية، حيث تعد القشرة ما قبل الجبهية من أبرز المناطق المسؤولة عن هذه الوظائف. وترتبط هذه المنطقة بعدد من المناطق الدماغية الأخرى مثل القشرة الجدارية، القشرة الصدغية، الحصين، القشرة الحزامية، والمهاد. وقد شهدت الدراسات التي تركز على إصابات الدماغ تأثيرًا كبيرًا في السنوات الأخيرة، حيث أن إصابة الدماغ في القشرة ما قبل الجبهية قد تؤدي إلى تدهور كبير في الأداء التنفيذي للأطفال، مثل ضعف الذاكرة العاملة، والكبح، واتخاذ القرارات. وقد تستمر آثار هذه الإصابات حتى بعد التعافي الجزئي. كما أن إصابات الدماغ تترك تأثيرًا أكبر على الأطفال الأصغر سنًا، حيث تزداد المخاطر المتعلقة بالتدهور الوظيفي إذا حدثت الإصابة في مراحل مبكرة من الحياة. بالإضافة إلى ذلك، يظهر الأطفال الذين يعانون من إصابات دماغية متوسطة إلى شديدة ضعفًا في الذاكرة العاملة والكبح، مما يسبب صعوبة في أداء المهام المعقدة. بالتالي، هذا يحيل على السؤال التالي: كيف يمكن لتطور التقنيات العصبية الحديثة أن يساهم في تطوير استراتيجيات التأهيل للتدخل على مستوى التأثيرات السلبية لإصابات الدماغ على الوظائف التنفيذية لدى الأطفال؟

المراجع

الشرقي، ر. ع. وبنعيسى، ز. (2020). *المسار النمائي للوظائف التنفيذية: من الرضاعة إلى المراهقة*. 4، 36-7.

مراجع أجنبية:

- Alvarez, J. A., & Emory, E. (2006). Executive Function and the Frontal Lobes : A Meta-Analytic Review. *Neuropsychology Review*, 16(1), 17-42. <https://doi.org/10.1007/s11065-006-9002-x>
- Anderson, P. (2002). Assessment and Development of Executive Function (EF) During Childhood. *Child Neuropsychology*, 8(2), 71-82. <https://doi.org/10.1076/chin.8.2.71.8724>
- Best, J. R., & Miller, P. H. (2010). A Developmental Perspective on Executive Function : Development of Executive Functions. *Child Development*, 81(6), 1641-1660. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01499.x>
- Best, J. R., Miller, P. H., & Jones, L. L. (2009). Executive functions after age 5 : Changes and correlates. *Developmental Review*, 29(3), 180-200. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2009.05.002>
- Carlson, S. M. (2005). Developmentally Sensitive Measures of Executive Function in Preschool Children. *Developmental Neuropsychology*, 28(2), 595-616. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2802_3
- Carlson, S. M., Davis, A. C., & Leach, J. G. (2005). Less Is More : Executive Function and Symbolic Representation in Preschool Children. *Psychological Science*, 16(8), 609-616. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2005.01583.x>
- Chevalier, N. (2010). Les fonctions exécutives chez l'enfant : Concepts et développement. *Canadian Psychology / Psychologie canadienne*, 51(3), 149-163. <https://doi.org/10.1037/a0020031>
- Cragg, L., & Nation, K. (2008). Go or no-go? Developmental improvements in the efficiency of response inhibition in mid-childhood. *Developmental Science*, 11(6), 819-827. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00730.x>
- Cristofori, I., Cohen-Zimmerman, S., & Grafman, J. (2019). Executive functions. In *Handbook of Clinical Neurology* (Vol. 163, p. 197-219). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804281-6.00011-2>
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 135-168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- El Houari, F., & Zarhbouch, B. (2022). Executive Functions and mental health. *The International Scientific Forum*, 255-281. <https://doi.org/10.36772/isf10.10>
- Ewing-Cobbs, L., Prasad, M. R., Landry, S. H., Kramer, L., & DeLeon, R. (2004). Executive Functions Following Traumatic Brain Injury in Young Children : A Preliminary Analysis. *Developmental Neuropsychology*. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2601_7
- Fuster, J. M. (2002). Frontal lobe and cognitive development. *Journal of Neurocytology*, 31(3), 373-385. <https://doi.org/10.1023/A:1024190429920>

- Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers : A review using an integrative framework. *Psychological Bulletin*, 134(1), 31-60. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.134.1.31>
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The Structure of Working Memory From 4 to 15 Years of Age. *Developmental Psychology*, 40(2), 177-190. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.40.2.177>
- Gioia, G. A., Isquith, P. K., Retzlaff, P. D., & Espy, K. A. (2002). Confirmatory Factor Analysis of the Behavior Rating Inventory of Executive Function (BRIEF) in a Clinical Sample. *Child Neuropsychology*, 8(4), 249-257. <https://doi.org/10.1076/chin.8.4.249.13513>
- Goldstein, S., & Naglieri, J. A. (2014). *Handbook of executive functioning* (p. 567). Scopus. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8106-5>
- Houdé, O., Pineau, A., Leroux, G., Poirel, N., Perchey, G., Lanoë, C., Lubin, A., Turbelin, M.-R., Rossi, S., Simon, G., Delcroix, N., Lamberton, F., Vigneau, M., Wisniewski, G., Vicet, J.-R., & Mazoyer, B. (2011). Functional magnetic resonance imaging study of Piaget's conservation-of-number task in preschool and school-age children : A neo-Piagetian approach. *Journal of Experimental Child Psychology*, 110(3), 332-346. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.04.008>
- Huizinga, M., Dolan, C. V., & van der Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function : Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, 44(11), 2017-2036. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.01.010>
- Isquith, P. K., Gioia, G. A., & Espy, K. A. (2004). Executive Function in Preschool Children : Examination Through Everyday Behavior. *Developmental Neuropsychology*, 26(1), 403-422. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2601_3
- Jurado, M. B., & Rosselli, M. (2007). The Elusive Nature of Executive Functions : A Review of our Current Understanding. *Neuropsychology Review*, 17(3), 213-233. <https://doi.org/10.1007/s11065-007-9040-z>
- Kochanska, G., Murray, K. T., & Harlan, E. T. (2000). Effortful control in early childhood : Continuity and change, antecedents, and implications for social development. *Developmental Psychology*, 36(2), 220-232. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.36.2.220>
- Konrad, K., Gauggel, S., Manz, A., & Schöll, M. (2000). Lack of inhibition : A motivational deficit in children with attention deficit/hyperactivity disorder and children with traumatic brain injury. *Child Neuropsychology: A Journal on Normal and Abnormal Development in Childhood and Adolescence*, 6(4), 286-296. <https://doi.org/10.1076/chin.6.4.286.3145>
- Leblanc, N., Chen, S., Swank, P. R., Ewing-Cobbs, L., Barnes, M., Dennis, M., Max, J., Levin, H., & Schachar, R. (2005). Response Inhibition After Traumatic Brain Injury (TBI) in Children : Impairment and Recovery. *Developmental Neuropsychology*, 28(3), 829-848. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2803_5

- Lehto, J. E., Juujärvi, P., Kooistra, L., & Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning : Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology*, 21(1), 59-80.
<https://doi.org/10.1348/026151003321164627>
- Levin, H. S., & Hanten, G. (2005). Executive Functions After Traumatic Brain Injury in Children. *Pediatric Neurology*, 33(2), 79-93. <https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2005.02.002>
- Levin, H. S., Hanten, G., Chang, C.-C., Zhang, L., Schachar, R., Ewing-Cobbs, L., & Max, J. E. (2002). Working memory after traumatic brain injury in children. *Annals of Neurology*, 52(1), 82-88.
<https://doi.org/10.1002/ana.10252>
- Levin, H. S., Song, J., Ewing-Cobbs, L., Chapman, S. B., & Mendelsohn, D. (2001). Word fluency in relation to severity of closed head injury, associated frontal brain lesions, and age at injury in children. *Neuropsychologia*, 39(2), 122-131. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(00\)00111-1](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(00)00111-1)
- Lezak, M. D. (1982). The Problem of Assessing Executive Functions. *International Journal of Psychology*, 17(1-4), 281-297. <https://doi.org/10.1080/00207598208247445>
- Luciana, M., Conklin, H. M., Hooper, C. J., & Yarger, R. S. (2005). The Development of Nonverbal Working Memory and Executive Control Processes in Adolescents. *Child Development*, 76(3), 697-712.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2005.00872.x>
- Luna, B., Garver, K. E., Urban, T. A., Lazar, N. A., & Sweeney, J. A. (2004). Maturation of Cognitive Processes From Late Childhood to Adulthood. *Child Development*, 75(5), 1357-1372.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2004.00745.x>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., & Howerter, A. (2000). *The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex "Frontal Lobe" Tasks : A Latent Variable Analysis*.
- Müller, U., & Kerns, K. (2015). *The Development of Executive Function*.
- Prevor, M. B., & Diamond, A. (2005). Color-object interference in young children : A Stroop effect in children 3½–6½ years old. *Cognitive Development*, 20(2), 256-278.
<https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2005.04.001>
- Pribram, K. H. (1973). Chapter 14—THE PRIMATE FRONTAL CORTEX – EXECUTIVE OF THE BRAIN. In K. H. Pribram & A. R. Luria (Éds.), *Psychophysiology of the Frontal Lobes* (p. 293-314). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-564340-5.50019-6>
- Ratiu, P., & Talos, I.-F. (2004). The Tale of Phineas Gage, Digitally Remastered. *New England Journal of Medicine*, 351(23), e21. <https://doi.org/10.1056/NEJMicm031024>
- Roncadin, C., Guger, S., Archibald, J., Barnes, M., & Dennis, M. (2004). Working Memory After Mild, Moderate, or Severe Childhood Closed Head Injury. *Developmental Neuropsychology*.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/87565641.2004.9651920>

- Rosario Rueda, M., P. Pozuelos, J., M. Cómbita, L., & Dept. of Experimental Psychology, Center for Research on Mind, Brain, and Behavior (CIMCYC), Universidad de Granada, Spain. (2015). Cognitive Neuroscience of Attention From brain mechanisms to individual differences in efficiency. *AIMS Neuroscience*, 2(4), 183-202. <https://doi.org/10.3934/Neuroscience.2015.4.183>
- Roy, A. (2008). *Fonctions exécutives chez les enfants atteints d'une neurofibromatose de type 1 approche clinique et critique*.
- Simpson, A., & Riggs, K. J. (2007). Under what conditions do young children have difficulty inhibiting manual actions? *Developmental Psychology*, 43(2), 417-428. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.43.2.417>
- Slomine, B. S., Gerring, J. P., Grados, M. A., Vasa, R., Brady, K. D., Christensen, J. R., & Denckla, M. B. (2002). Performance on measures of « executive function » following pediatric traumatic brain injury. *Brain Injury*, 16(9), 759-772. <https://doi.org/10.1080/02699050210127286>
- Taylor, S. J., Barker, L. A., Heavey, L., & McHale, S. (2015). The longitudinal development of social and executive functions in late adolescence and early adulthood. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2015.00252>
- Vriezen, E. R., & Pigott, S. E. (2002). The Relationship Between Parental Report on the BRIEF and Performance-Based Measures of Executive Function in Children with Moderate to Severe Traumatic Brain Injury. *Child Neuropsychology*, 8(4), 296-303. <https://doi.org/10.1076/chin.8.4.296.13505>
- Wager, T. D., Jonides, J., & Reading, S. (2004). *Neuroimaging studies of shifting attention : A meta-analysis*\$.
- Wright, I., Waterman, M., Prescott, H., & Murdoch-Eaton, D. (2003). A new Stroop-like measure of inhibitory function development : Typical developmental trends. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 44(4), 561-575. <https://doi.org/10.1111/1469-7610.00145>
- Zelazo, P. D., Müller, U., Frye, D., Marcovitch, S., Argitis, G., Boseovski, J., Chiang, J. K., Hongwanishkul, D., Schuster, B. V., Sutherland, A., & Carlson, S. M. (2003). The Development of Executive Function in Early Childhood. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 68(3), i-151.