



جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة ميسان - كلية العلوم
قسم الفيزياء



دراسة نشاط الدماغ باستخدام (التصوير الوظيفي بالأشعة تحت الحمراء القريبة (fNIRS))

بحث مقدم الى كلية العلوم - قسم الفيزياء وهو جزء من متطلبات
نيل شهادة البكالوريوس في علوم الفيزياء

اعداد الطــــلاب

علي عماد كاظم

مجتبى فاخر جاسم

محمد جعفر احمد حسين

اشــــرف

م.حسين سعدون ياسين

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

(قَالُوا سُبْحَانَكَ لَا عِلْمَ لَنَا إِلَّا مَا عَلَّمْتَنَا إِنَّكَ

أَنْتَ الْعَلِيمُ الْحَكِيمُ)

سورة البقرة - الآية (32)

صَدَقَ اللَّهُ الْعَلِيُّ الْعَظِيمُ

اقرار اللجنة المناقشة

نحن رئيس واعضاء لجنة المناقشة الموقعون ادناه قد ناقشنا البحث الموسوم دراسة نشاط دماغ باستخدام دراسة نشاط دماغ باستخدام (التصوير الوظيفي بالأشعة تحت الحمراء القريبة (fNIRS)) المقدم من قبل الطالبة (علي عماد كاظم – مجتبی فاخر جاسم – محمد جعفر احمد حسين) وبالنظر لإهتمامهم بمحتوى البحث ودفاعهم من خلال الأسئلة الموجهة لهم وجدت اللجنة انه مستوفٍ لاعتبار جزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في علوم الفيزياء .

رئيس اللجنة

التوقيع :

الاسم :

الدرجة العلمية :

التاريخ : / / 2025

عضو اللجنة

التوقيع :

الاسم :

الدرجة العلمية:

التاريخ : / / 2025

عضو اللجنة

التوقيع :

الاسم :

الدرجة العلمية:

التاريخ : / / 2025

اقرار المشرف

اشهد ان هذا البحث العلمي الموسوم :

دراسة نشاط دماغ باستخدام (التصوير الوظيفي بالأشعة تحت الحمراء القريبة (fNIRS))

الذي تقدم به الطلبة :

1- علي عماد كاظم.

2- مجتبی فاخر جاسم.

3- محمد جعفر احمد حسين.

قد جرى تحت اشرافي في القسم الفيزياء- الكلية العلوم- جامعة ميسان للعام الدراسي 2024-2025 وهو جزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في علوم الفيزياء .

التوقيع :

الاسم :

الدرجة العلمية :

العنوان : كلية العلوم / جامعة ميسان

التاريخ : / / ٢٠٢٥

توصية رئيس القسم

استنادا اقرار المشرف احيل هذا البحث الى لجان المناقشة

التوقيع :

الدرجة العلمية :

الاسم :

التاريخ : / / ٢٠٢٥

إهداء

(وَآخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ)

إلى أنوار الهدى ومنابع الحكمة، إلى النبي الأكرم محمد وآله الطيبين الطاهرين، وإلى أهل بيته الكرام، الذين كانوا مصابيح الدجى وسفن النجاة، نقندي بهم ونسير على خطاهم

إلى الإمام المهدي (عجل الله فرجه الشريف)، رمز العدل والحق، الذي نستمد منه الأمل ونسأل الله أن يجعلنا من المنتظرين له بصدق وإخلاص

إلى عائلتي العزيزة، سندي في هذه الحياة، الذين كانوا لي العون والدعم في كل خطوة. إلى والديّ الحبيبين، مصدر قوتي وإلهامي

إليكم جميعاً، أهدي هذا العمل المتواضع، راجياً من الله أن يكون مقبولاً ونافعاً.

شكر وتقدير

الحمد لله الذي منحنا نعمة العلم وأضاء لنا طريق الفهم. أشكره على توفيقه وإرادته التي جعلتني أتمكن من إتمام هذا البحث. أسأله أن يجعل هذا العمل في ميزان حسناتي، وأن يوفقني في مسيرتي العلمية.

أشكر كلية العلوم وبالأخص قسم الفيزياء في جامعة ميسان على الدعم والتوجيه الذي قدموه لي طوال فترة دراستي. كان لهم دور كبير في مساعدتي على إتمام هذا البحث.

أما الشكر الذي ينبع من القلب، فهو لأستاذي المشرف (م. حسين سعدون ياسين) الذي لم يكن مجرد أستاذ يوجه ويصحح، بل كان أخاً في دعمه، وأباً في نصحه، وصديقاً في تشجيعه. كانت كلماته دائماً دافعاً للاستمرار، وإرشاداته نوراً في مسيرة البحث، فله مني كل الاحترام والتقدير.

وختاماً، أسأل الله أن يكون هذا البحث نافعاً، وأن يوفقني ويوفق كل من يسعى للعلم والمعرفة لما فيه الخير والتقدم.

جدول المحتويات

الصفحة	الموضوع	التسلسل
i	الآية القرآنية	
ii	اقرار لجنة المناقشة	
iii	اقرار المشرف	
vi	الاهداء	
v	الشكر والتقدير	
vi	جدول المحتويات	
vii	جدول الأشكال	
viii	الخلاصة	
مقدمة عامة		الفصل الاول
1	المقدمة	1-1
2	المبادئ الفيزيائية للفحص الوظيفي باستخدام الأشعة تحت الحمراء القريبة (fNIRS)	1-2
4	أنواع أنظمة fNIRS	1-3
4	مكونات في جهاز fNIRS	1-4
8	أهمية دراسة fNIRS	1-5
تطبيقات		الفصل الثاني
10	دراسة العمليات الإدراكية باستخدام fNIRS	2-1
12	التطبيقات السريرية والطبية	2-2
13	علم الأعصاب الاجتماعي	2-3
14	التطبيقات في الأطفال والرضع	2-4
14	التطبيقات في التعليم والتدريب	2-5
مقارنة بين التقنيات		الفصل الثالث
16	مقارنة بين تقنية الأشعة تحت الحمراء القريبة (fNIRS) وتقنية تخطيط الدماغ الكهربائي (EEG)	3-1

17	المقارنة بين fMRI و fNIRS	3-2
	الاستنتاجات والتوصيات	الفصل الرابع
21	fNIRS حول دراسة	4-1
23	fNIRS حول دراسة	4-2
24	المصادر	

جدول الأشكال

الصفحة	اسم الشكل	التسلسل
3	توضيح المسار (الموضح باللون الأحمر) الذي يتبعه الفوتونات تحت الحمراء القريبة (NIR) من مصدر الضوء إلى الكاشف عبر الطبقات المختلفة للرأس. عمق اختراق الضوء يتناسب مع المسافة بين المصدر والكاشف (d1: قناة أعمق؛ d2: قناة سطحية). القناة تتكون من زوج من المصدر والكاشف وتقع في المنتصف بين المصدر والكاشف وعلى عمق يعادل تقريباً نصف المسافة بين المصدر والكاشف.	1-1
7	(FNERS)	2-1
16	(EEG)	3-1
19	(FMIR)	3-2
21	(مناطق تأثيرات الدماغ بسبب الزهايمر)	4-1

الخلاصة

تُعتبر تقنية fNIRS (Functional Near-Infrared Spectroscopy) أداة متقدمة لمراقبة النشاط الدماغي. تهدف هذه الدراسة إلى استكشاف فعالية fNIRS في دراسة عدة حالات مرضية وتأثيراتها على النشاط العصبي استخدمت الأبحاث العالمية تقنيات fNIRS لمراقبة تدفق الدم في مناطق الدماغ المرتبطة بالذاكرة، الحركة، والتركيز، مما يوفر قياسات مباشرة للنشاط الدماغي.

تشير النتائج إلى فعالية fNIRS في دراسة مجموعة من الأمراض العصبية. في حالة مرض الزهايمر، تم تحديد أنماط غير طبيعية في تدفق الدم في مناطق الذاكرة، مما يرتبط بالتدهور المعرفي. أما بالنسبة لـ السكتة الدماغية، فقد أظهرت النتائج تحسناً في تدفق الدم إلى المناطق المتضررة بعد العلاج، مما يوحي بفعالية برامج إعادة التأهيل. بالنسبة لـ مرض باركنسون، تم الكشف عن تغييرات في تدفق الدم أثناء الحركة، مما يشير إلى صعوبات في التحكم الحركي ويعزز من فعالية العلاجات.

أخيراً، في حالة الاكتئاب، كشفت fNIRS عن نشاط غير طبيعي في مناطق الدماغ المرتبطة بالعواطف، مما يساعد في تقييم شدة الاكتئاب واستجابة المرضى للعلاج.

فيما يتعلق بـ اضطراب فرط الحركة ونقص الانتباه (ADHD)، أظهرت الدراسات أن الأطفال المصابين بهذا الاضطراب يظهرون أنماط نشاط دماغي مختلفة عند أداء مهام التركيز، مما يساعد في توجيه استراتيجيات العلاج.

fNIRS أداة قوية لفهم تأثيرات الأمراض العصبية على النشاط الدماغي، مما يساهم في تحسين استراتيجيات التشخيص والعلاج. تقدم النتائج رؤى جديدة قد تعزز من تطوير طرق مبتكرة للتعامل مع هذه الحالات.

الفصل الاول

مقدمة عامة

1-1 المقدمة

شهدت العقود الأخيرة تطوراً هائلاً في تقنيات التصوير العصبي الوظيفي، مما ساهم بشكل كبير في فهم وظائف الدماغ سواء في حالته الطبيعية أو في ظل الاضطرابات العصبية والنفسية. وقد لعبت تقنيات مثل التخطيط الكهربائي للدماغ (EEG)، وتخطيط الدماغ المغناطيسي (MEG)، والتصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي (fMRI)، والتصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (PET) دوراً أساسياً في كشف العمليات العصبية المرتبطة بالإدراك والسلوك [1] ومع ذلك، فإن هذه الأساليب تواجه قيوداً جوهرية، مثل ارتفاع التكلفة، الحاجة إلى بيئات مختبرية صارمة، والتأثر بالحركة، مما يحد من تطبيقاتها في الدراسات السريرية وفي البيئات الواقعية [2]. نتيجةً لذلك، ظهرت الحاجة إلى تقنيات تصوير عصبي جديدة يمكنها التغلب على هذه التحديات، مما أدى إلى تزايد الاهتمام بتقنية التصوير الطيفي الوظيفي بالأشعة تحت الحمراء القريبة (fNIRS) [3]. يتميز fNIRS بأنه غير جراحي، آمن، منخفض التكلفة، محمول، ويمكن استخدامه أثناء الحركة، مما يجعله خياراً مثالياً لدراسة نشاط الدماغ في بيئات طبيعية مثل العيادات، المدارس، وحتى أثناء التفاعل الاجتماعي [4]. وقد أثبتت الأبحاث أن fNIRS يُعد أداة واعدة في دراسة التطور العصبي لدى الأطفال، حيث مكّن من فحص العمليات الإدراكية مثل معالجة اللغة، التعرف على الوجوه، والتخصص الوظيفي للأنظمة الحسية. علاوةً على ذلك، لعب fNIRS دوراً مهماً في أبحاث الاضطرابات النفسية، حيث ساعد في دراسة الاختلالات الوظيفية في القشرة الجبهية الأمامية لدى مرضى الفصام، وكشف عن اختلافات في الاستجابة الدموية، وانخفاض في النشاط الدماغي، وأنماط اتصال وظيفي غير نمطية يهدف هذا البحث إلى استعراض إمكانيات fNIRS، وتبسيط الضوء على تطبيقاته الواسعة في دراسة وظائف الدماغ البشرية، يتناول هذا البحث تقنية وهي التصوير الطيفي للأشعة تحت الحمراء القريبة الوظيفي (fNIRS) - التي تمتلك القدرة على التغلب على بعض هذه المشكلات. شهدت السنوات الـ 25 الماضية نمواً سريعاً في استخدام fNIRS كأداة لمراقبة نشاط الدماغ الوظيفي .

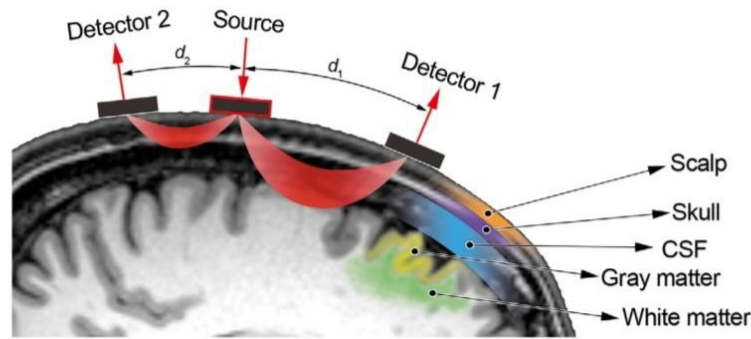
2-1 المبادئ الفيزيائية للفحص الوظيفي باستخدام الأشعة تحت الحمراء القريبة (fNIRS)

تقنية الفحص الوظيفي باستخدام الأشعة تحت الحمراء القريبة (fNIRS) هي تقنية تصوير عصبي بصرية وغير جراحية تتيح قياس التغيرات في تركيز الأوكسجين والهيموغلوبين غير المؤكسد (HbO) و (HbR) في الأنسجة الدماغية بعد تنشيط الخلايا العصبية. يتم ذلك من خلال تسليط ضوء الأشعة تحت الحمراء القريبة (650-950 نانومتر) على الرأس، وبلاستفادة من الشفافية النسبية للأنسجة البيولوجية في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة، يمكن للضوء الوصول إلى الأنسجة الدماغية. تعود اكتشاف وجود نافذة الأشعة تحت الحمراء القريبة في جسم الإنسان إلى عام 1977م [5]، عندما لاحظ فرانسييس جوبسيس قدرة الضوء الأحمر على التسلل عبر عظمة سميكة تبلغ 4 مم من لحم الستيك بينما كان يمسك بها ضد الضوء المرئي [6]. وقد أشار هذا إلى أن الضوء الأحمر وحتى ضوء الأشعة تحت الحمراء القريبة ذو الأطوال الموجية الأطول يمكن أن يمر عبر فروة الرأس والجمجمة ويصل إلى الأنسجة أسفلها. تستفيد تقنية الفحص الوظيفي باستخدام الأشعة تحت الحمراء القريبة من خاصية الشفافية التي يتمتع بها الجلد والعظام تجاه ضوء الأشعة تحت الحمراء القريبة، وقد تم استخدامها في العديد من المجالات والتطبيقات المختلفة تتم قياسات fNIRS عن طريق إرسال ضوء الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) على فروة الرأس. قبل الوصول إلى الدماغ، يجب أن يمر ضوء NIR عبر عدة طبقات مختلفة (مثل الجلد، الجمجمة، والسائل الدماغي الشوكي)، وكل منها له خصائص بصرية مختلفة. لذا فإن تفاعل ضوء NIR مع الأنسجة البشرية معقد حيث أن الأنسجة غير متجانسة وغير متماثلة عبر الطبقات المختلفة. ومع ذلك، يمكن تبسيط هذا بتأكيد أن ضوء NIR يتعرض للانخفاض بسبب الامتصاص والتشتت. الامتصاص هو العملية التي يتم من خلالها تحويل طاقة الفوتون إلى طاقة داخلية للوسط الذي يسير فيه، ويعتمد على الخصائص الجزيئية للمادة. في أنسجتنا، هناك عدة مواد مثل الماء، الدهون، الهيموغلوبين، الميلانين، وسيتوكروم-ج، ولكل منها خصائص امتصاص مختلفة عند الأطوال الموجية المختلفة [7]. على وجه الخصوص، يتكون جسمنا من حوالي 70% ماء، وفي نافذة الأشعة تحت الحمراء القريبة، يكون امتصاصه في أدنى مستوياته، مما يسمح لضوء NIR بالمرور عبر الأنسجة. أكثر المادة الامتصاصية المسيطرة والتابعة للوظائف الفسيولوجية في نافذة الأشعة تحت الحمراء القريبة هي الهيموغلوبين. استنادًا إلى حالته المشبعة بالأوكسجين، يمكن أن يكون الهيموغلوبين في حالته المؤكسدة (أي، الأوكسيد-هيموغلوبين، (HbO) أو في حالته غير المؤكسدة) أي، الهيموغلوبين غير المؤكسد، (HbR) على وجه الخصوص، يمتص (HbO) ضوء الأشعة تحت الحمراء القريبة بشكل مختلف: امتصاص (HbO) أعلى عند الأطوال الموجية $800 <$ نانومتر؛ وعلى العكس، يكون معامل امتصاص (HbR) أعلى عند الأطوال الموجية $800 >$ نانومتر. يعكس هذا الاختلاف في

الامتصاص أيضاً لون الدم، حيث يكون أكثر احمراراً في الدم المؤكسد (الدم الشرياني، 98% مشبع) وأكثر مائلة للون البنفسجي في الدم الوريدي (75% مشبع)، ويمكن قياسه من خلال القياسات الطيفية. عندما يكون أحد مناطق الدماغ نشطاً ويشارك في تنفيذ مهمة معينة، تزداد الحاجة الأيضية للدماغ للأوكسجين والجلوكوز، مما يؤدي إلى زيادة في تدفق الدم الدماغي الإقليمي (CBF) لتلبية الحاجة الأيضية المتزايدة للدماغ. وتسمى الزيادة في CBF استجابةً لزيادة النشاط العصبي بـ "الفرط الدموي الوظيفي"، ويتم تحفيزها من خلال العديد من آليات الاقتران العصبي الوعائي، مثل التغيرات في قطر الأوعية الشعرية والمواد الفعالة للأوعية [8]. وبالتالي، يؤدي الفائض في CBF إلى زيادة في تركيزات HbO_2 وتقليل تركيزات (HbR)؛ ويتم تقدير هذه التغيرات من خلال التغيرات في انخفاض الضوء الذي يمكن قياسه باستخدام (fNIRS).

بالإضافة إلى الامتصاص، يتشتت ضوء NIR أيضاً عندما يمر عبر الأنسجة البيولوجية. التشتت يحدث بمعدل يزيد بمقدار 100 مرة عن الامتصاص ويؤدي إلى انخفاض الضوء. كلما تشتت الفوتون أكثر، كلما كان المسار الذي يسلكه أطول وزادت احتمالية امتصاصه. سيتشتت الضوء الذي يتم تسليطه على الرأس ويُنتشر، ويمكنه أن يخترق عدة سنتيمترات عبر الأنسجة.

لذلك، إذا وضعنا كاشف ضوء على مسافة معينة من مصدر ضوء NIR، يمكننا جمع الضوء المرتد (الشعاع العائد) وقياس التغيرات في انخفاض الضوء.



الشكل 1-1 : توضيح المسار (الموضح باللون الأحمر) الذي يتبعه الفوتونات تحت الحمراء القريبة (NIR) من مصدر الضوء إلى الكاشف عبر الطبقات المختلفة للرأس. عمق اختراق الضوء يتناسب مع المسافة بين المصدر والكاشف (d_1 : قناة أعمق؛ d_2 : قناة سطحية). القناة تتكون من زوج من المصدر والكاشف وتقع في المنتصف بين المصدر والكاشف وعلى عمق يعادل تقريباً نصف المسافة بين المصدر والكاشف.

1-3 أنواع أنظمة fNIRS

توجد مجموعة واسعة من الأجهزة التجارية والمصممة خصيصًا لأنظمة fNIRS قيد الاستخدام حاليًا. تختلف هذه الأنظمة من حيث الاستخدام والهندسة النظامية، مع وجود تبادلات بين مصادر الضوء، والكواشف، وإلكترونيات الأجهزة التي تؤدي إلى تأثيرات متبادلة في المعلومات المتاحة للتحليل، السلامة، والتكلفة. تم تطوير ثلاثة أنواع مميزة من تطبيقات fNIRS : الأنظمة الزمنية المحللة، وأنظمة المجال الترددي، وأنظمة التحليل الطيفي الموجي المستمر، كل منها له قوته وقيوده الخاصة. تقدم الأنظمة الزمنية المحللة وأنظمة المجال الترددي معلومات عن التحولات في كل من الطور والسعة للضوء، وهي ضرورية للقياس الأكثر دقة لإشارات fNIRS [9].

تطبق أنظمة الموجة المستمرة (CW) إما ضوءًا مستمرًا أو ضوءًا بدنبذبة بطيئة على الأنسجة وتقيس انخفاض سعة الضوء الساقط. تستخدم هذه الأنظمة كواشف أقل تعقيدًا من الأنظمة الزمنية المحللة وأنظمة المجال الترددي، وبالتالي، لا يمكنها حل المكونات المتغيرة مع الزمن للضوء. ونتيجة لذلك، توفر أنظمة CW معلومات أقل إلى حد ما من الأنظمة الزمنية أو أنظمة المجال الترددي، لكن هذه المقايضة تؤدي إلى القدرة على تصميم أجهزة أكثر تكاملًا وأقل تكلفة، مما يجعلها مفيدة في التطبيقات المحددة. يمكن أن تكون هذه الأنظمة قائمة على الليزر، ولكن يمكن أيضًا استخدام ثنائيات الضوء الباعثة (LEDs) في تصميمات CW لزيادة السلامة (خصوصًا فيما يتعلق بالتعرض للعين) ولتقليل حجم الأجهزة وتكاليفها، مما يجعل من الممكن نشر هذه الأنظمة في البيئات السريرية أو التعليمية. لمناقشة أكثر تفصيلًا لهذه الاختلافات بين الأنظمة [10].

1-4 مكونات في جهاز fNIRS

A. مصدر الضوء في جهاز fNIRS :

مصدر الضوء في جهاز fNIRS يلعب دورًا حيويًا في النظام لأنه يوفر الأشعة تحت الحمراء التي يتم إرسالها إلى الأنسجة الدماغية لقياس التغيرات في امتصاص الضوء بواسطة الدماغ. الطيف الضوئي في جهاز fNIRS ، يتم استخدام الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) ، وهي تتراوح بين 650 نانومتر و 950 نانومتر. هذا الطيف هو الجزء الذي يمكن أن يخترق الأنسجة البشرية بشكل فعال ويصل إلى الأنسجة الدماغية دون أن يكون ضارًا أو مضرًا. الأشعة تحت الحمراء في هذا الطيف لها القدرة على اختراق الأنسجة البشرية ، حيث يتغير مستوى الامتصاص استجابة لتغيرات الأوكسجين في الدم . [11]

يتم استخدام نوعين رئيسيين من مصادر الضوء :

1- الديودات الباعثة للضوء : LEDs هي أكثر الأنواع استخدامًا في أجهزة fNIRS. يتميز ال LED بقدرة عالية على التحكم في الطيف الضوئي، حيث يمكن أن يتم إنتاجه لطول موجي دقيق بفعالية. هي مصادر ضوء موثوقة، ذات استهلاك منخفض للطاقة، وسهلة في التركيب والصيانة. القدرة على التسلل في الأنسجة قد تكون أقل بالمقارنة مع الليزر، مما يجعل استخدامها أكثر مناسبة للأبحاث على مستوى الطبقات السطحية.

2- الليزر (Laser diodes) في بعض الأنظمة المتطورة، يتم استخدام ليزرات ديود (Laser Diodes) لبعث الضوء. عادة ما تستخدم أطوال موجية محددة في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة، وهي تتيح تركيزًا أعلى للطاقة الضوئية في منطقة معينة. الليزر يوفر إشارة ضوء أكثر تركيزًا وبالتالي يمكنه اختراق الأنسجة بعمق أكبر مقارنة بال LEDs يمكن التحكم في الطول الموجي بشكل دقيق جدًا. تكلفته أعلى من LED. يحتاج إلى مزيد من التحكم والدقة في استخدامه لمنع أي تأثيرات غير مرغوب فيها على العين أو الأنسجة. [12]

B. المستقبلات في جهاز: fNIRS

المستقبلات هي المكونات التي تقوم بكشف الضوء الذي يمر عبر الأنسجة بعد أن يتم امتصاصه أو تنثره من قبل الأنسجة الدماغية. تقوم المستقبلات بتحويل الضوء المنعكس أو المتناثر إلى إشارات كهربائية يمكن معالجتها وتحليلها للحصول على معلومات حول النشاط العصبي في الدماغ. يتم وضع المستقبلات عادةً على الجهة المقابلة للمصادر على فروة الرأس. يتم تنظيم هذه المستقبلات في شبكة من نقاط القياس على فروة الرأس بحيث تغطي أكبر مساحة ممكنة في الدماغ. عندما يتم إرسال الضوء من المصادر عبر الأنسجة الدماغية، يعاد انعكاسه أو تنثره جزئيًا بواسطة الدم. المستقبلات تلتقط هذا الضوء المنعكس أو المتناثر وتقوم بتحويله إلى إشارة كهربائية تُرسل إلى جهاز التحليل. الإشارة الناتجة تكون عبارة عن تغيرات في شدة الضوء، والتي ترتبط ارتباطًا مباشرًا بتغيرات التركيزات الأوكسجينية والهيموغلوبينية في الدماغ.

في أجهزة fNIRS ، توجد عدة أنواع من المستقبلات التي يمكن استخدامها، وأكثر الأنواع شيوعاً هي:

1- المستقبلات الضوئية الثنائية: (Photodiodes) المستقبلات الضوئية الثنائية هي الأكثر استخداماً في أنظمة fNIRS. هي أجهزة تقيس الضوء وتحوله إلى إشارة كهربائية عبر التأثيرات الكهروضوئية. تستخدم هذه المستقبلات للكشف عن الضوء الذي يمر عبر الأنسجة بعد امتصاصه من قبل الهيموغلوبين. تتميز المستقبلات الضوئية الثنائية بأنها توفر استجابة سريعة وموثوقة تعمل بشكل جيد ضمن نطاقات الأشعة تحت الحمراء القريبة (650-950 نانومتر). توفر دقة عالية في قياس التغيرات في الإشارة، وهو أمر حيوي عند قياس النشاط الدماغي.

2- أنابيب الفوتونات الضوئية: (Photomultiplier Tubes, PMTs) بعض الأنظمة المتقدمة قد تستخدم أنابيب الفوتونات الضوئية (PMTs) للكشف عن الضوء، حيث تُستخدم هذه الأنابيب لتضخيم الإشارة الضوئية القادمة بحيث يمكن تحويلها إلى إشارة كهربائية. قدرة أعلى على كشف إشارات الضوء الضعيفة، مما يجعلها مناسبة للأبحاث التي تتطلب قياسات دقيقة في الأنسجة العميقة تتيح تحسين القدرة على كشف الإشارات الضعيفة التي قد لا تكون ظاهرة باستخدام المستقبلات التقليدية. [13]

C. نظام معالجة الإشارة (Signal Processing System)

يعد نظام معالجة الإشارة من أهم مكونات جهاز fNIRS ، حيث يهدف إلى تنقية الإشارات المستقبلية من المستقبلات الضوئية وتحليلها لاستخراج معلومات دقيقة عن النشاط العصبي في الدماغ. تمر هذه الإشارات بعدة مراحل قبل أن تصبح جاهزة للتحليل العلمي.

عند استقبال الضوء المنتشر من أنسجة الدماغ، تكون الإشارة ضعيفة ومتأثرة بعدة عوامل قد تؤدي إلى تشويشها، مثل:

- 1- الضوء المحيط: مثل ضوء الغرفة أو أشعة الشمس التي قد تتداخل مع إشارات fNIRS .
- 2- حركة الرأس : تؤثر على طريقة امتصاص الضوء، مما يسبب تغيرات غير مرتبطة بالنشاط العصبي.
- 3- التغيرات الفسيولوجية غير المرتبطة بالدماغ: مثل تغيرات تدفق الدم في الجلد لذلك، نحتاج إلى معالجة الإشارة لإزالة هذه العوامل واستخراج البيانات الحقيقية المتعلقة بالنشاط العصبي . [14]

مراحل معالجة الإشارة في fNIRS

- (a) التصفية (Filtering) .
- (b) حساب تركيزات الهيموغلوبين (Data Transformation) .
- (c) تحليل البيانات (Data Analysis) .
- (d) عرض البيانات (Data Visualization) . [15]
- D. نظام العرض والتفسير (Visualization & Interpretation)

يُعتبر نظام العرض والتفسير الخطوة الأخيرة في تحليل بيانات fNIRS ، حيث يتم تحويل الإشارات الضوئية المعالجة إلى تمثيلات بصرية تسهل فهم النشاط العصبي في الدماغ. من خلال هذه المرحلة، يتمكن الباحثون من تحليل نشاط مناطق الدماغ المختلفة والتوصل إلى استنتاجات علمية دقيقة. الطرق المستخدمة في العرض والتفسير:

1. المخططات الزمنية: (Time Series)

تُظهر كيف يتغير مستوى الأوكسجين في الدماغ بمرور الوقت تُستخدم لمقارنة النشاط الدماغي قبل وبعد القيام بمهمة معينة

2. الخرائط الدماغية الطوبوغرافية: (Topographic Brain Maps) تُعرض نشاط الدماغ في مناطق مختلفة باستخدام ألوان تُظهر مستويات الأوكسجين. تساعد في تحديد أي المناطق أكثر نشاطاً أثناء المهام الإدراكية.

3. التحليل الإحصائي: (Statistical Analysis) ستستخدم لاختبار الفروق بين الحالات المختلفة. مثلاً، مقارنة نشاط الدماغ بين الأشخاص الأصحاء والمرضى. [16]



الشكل 2-1 : (FNERS)

1-5 أهمية دراسة fNIRS

1. دراسة النشاط العصبي في الدماغ.

fNIRS يوفر طريقة لقياس التغيرات في الأوكسجين في الدماغ، مما يساعد في دراسة النشاط العصبي أثناء الأنشطة المعرفية أو الحركية.

2. تطبيقات في البحوث العصبية والنفسية.

يستخدم fNIRS لدراسة الاضطرابات العصبية مثل التوحد ، مما يساعد في فهم تأثير هذه الحالات على الدماغ وتطوير طرق علاجية فعالة . [17]

3. قياس التغيرات الدماغية أثناء المهام.

يسمح fNIRS بتحديد المناطق النشطة في الدماغ أثناء أداء المهام المعرفية مثل حل المشكلات أو قراءة النصوص.

4. قياسات غير تدخلية في بيئات طبيعية.

fNIRS أداة غير تدخلية، مما يسمح بقياس النشاط العصبي في بيئات طبيعية مثل أثناء ممارسة الرياضة أو في الأنشطة اليومية.

5. استخدامه في الأطفال والبالغين.

يمكن استخدام fNIRS بشكل آمن على الأطفال والبالغين لأنه غير مؤلم، ما يجعله مثاليًا لدراسات الدماغ في هذه الفئات العمرية . [18]

الفصل الثاني

تطبيق

2-1 دراسة العمليات الإدراكية باستخدام fNIRS

في مجال علم الأعصاب الإدراكي، يُستخدم fNIRS لدراسة كيفية معالجة الدماغ للمعلومات المعرفية والإدراكية. العمليات الإدراكية تشمل مجموعة واسعة من الأنشطة مثل الذاكرة، الانتباه، الإدراك الحسي، التفكير المعقد، وغيرها من المهام التي تتطلب معالجة معرفية من الدماغ. تعد هذه التطبيقات مهمة لأنها تساعد في فهم كيفية عمل الدماغ أثناء أداء الأنشطة اليومية التي تتطلب تفاعلاً عقلياً. [19]

أ. دراسة الذاكرة (Memory Studies)

تعتبر الذاكرة واحدة من العمليات الإدراكية الأساسية التي يمكن فحصها باستخدام fNIRS. تساعد هذه التقنية في مراقبة النشاط الدماغي المرتبط بعمليات الاسترجاع والتخزين والتذكر.

- التطبيق: يمكن للأفراد إجراء مهام تستدعي استرجاع معلومات، مثل تذكر قائمة من الكلمات أو الصور، بينما تُسجل fNIRS النشاط العصبي في القشرة الجبهية، وهي المنطقة المسؤولة عن الذاكرة التنفيذية.
- النتيجة: في الدراسات المختلفة، أظهرت نتائج fNIRS أن الذاكرة ترتبط بالنشاط العصبي في مناطق معينة في القشرة الجبهية الأمامية. هذا يسمح للباحثين بفهم كيفية تنظيم الدماغ لعمليات الذاكرة عبر الوقت وكيفية تحفيز هذه العمليات بواسطة محفزات خارجية.

مثال بحثي:

- في دراسة (Pinti et al. (2020، تم استخدام fNIRS لتحليل نشاط الدماغ أثناء إجراء مهام تتطلب تذكر قائمة من الكلمات. أظهرت النتائج أن هناك تنشيطاً ملحوظاً في المناطق الجبهية للمشاركين أثناء المحاولة لتذكر الكلمات، مما يشير إلى دور هذه المناطق في عمليات الذاكرة.

ب. دراسة الانتباه (Attention Studies)

الانتباه هو عملية إدراكية أخرى يمكن مراقبتها باستخدام fNIRS . يهتم علماء الأعصاب بكيفية تخصيص الدماغ لموارده نحو مهام معينة، مثل الانتباه إلى إشارات مرئية أو سمعية.

- التطبيق: يتم طلب من الأفراد أداء مهام تحفيزية، مثل تتبع الأهداف المتحركة على الشاشة أو الاستماع إلى مجموعة من الأصوات مع محاولة التركيز على واحد منها، بينما يقوم جهاز fNIRS بقياس النشاط في القشرة الجبهية والحزامية.
- النتيجة: أثناء التركيز على مهمة معينة، يتم تنشيط مناطق الدماغ المسؤولة عن الانتباه والعمليات التنفيذية fNIRS. يساعد في تحديد كيفية تفاعل هذه المناطق أثناء قيام الأشخاص بتركيز انتباههم على مهمة ما.

مثال بحثي:

- في دراسة (2011) . تم استخدام fNIRS لتحليل استجابة الدماغ أثناء مهام تتطلب تركيزًا على محفزات مرئية أو سمعية. أظهرت النتائج أن هناك تفاعلًا ملحوظًا في القشرة الجبهية المعنية بالانتباه التنفيذي.

ج. دراسة الإدراك الحسي (Sensory Perception Studies)

يتم استخدام fNIRS لدراسة كيفية معالجة الدماغ للمحفزات الحسية، سواء كانت بصرية، سمعية أو لمسية. يمكن تحليل كيف يتفاعل الدماغ مع هذه المحفزات في مناطق محددة مثل القشرة البصرية أو القشرة السمعية.

- التطبيق: يمكن اختبار الأفراد بمجموعات من المحفزات الحسية (على سبيل المثال، مشاهدة صور أو سماع أصوات) في حين يقيس جهاز fNIRS التغيرات في مستويات الأوكسجين في الدم في المناطق المعنية بهذه المحفزات.
- النتيجة: تمكن هذه الدراسات من فهم كيفية تأثير المحفزات الخارجية على نشاط الدماغ في الوقت الفعلي. يمكن أن تظهر هذه الدراسات، على سبيل المثال، كيف تتم معالجة المعلومات البصرية في القشرة البصرية، وكيف يتم معالجة المحفزات السمعية في القشرة السمعية.

أمثلة على الأبحاث

- دراسة أجراها Cutini et al. (2011) استخدمت fNIRS لتحليل نشاط القشرة الجبهية أثناء تنفيذ مهام اتخاذ القرار، ووجدت ارتباطاً بين مستوى الأكسجين في الدماغ وصعوبة المهمة.
- بحث Pinti et al. (2020) حول استخدام fNIRS في دراسة العمليات الإدراكية أظهر كيف أن التقنية توفر معلومات قيمة حول كيفية عمل الدماغ أثناء المهام المعرفية المختلفة . [20]

2-2 التطبيقات السريرية والطبية

أ. تشخيص وعلاج الاضطرابات العصبية والنفسية.

يُستخدم fNIRS في تقييم وعلاج عدد من الحالات العصبية والنفسية، مثل:

اضطراب طيف التوحد (ASD) يسمح بتحليل النشاط الدماغي غير الطبيعي لدى الأطفال المصابين بالتوحد أثناء المهام الاجتماعية واللغوية.

اضطراب فرط الحركة ونقص الانتباه (ADHD) يمكن استخدامه لدراسة نقص النشاط في القشرة الجبهية الذي يميز المرضى المصابين بهذا الاضطراب.

الاكتئاب والقلق: يُستخدم لمراقبة تأثير العلاجات الدوائية والعلاج السلوكي على نشاط الدماغ في المناطق المسؤولة عن التحكم العاطفي.

أمثلة على الأبحاث

دراسة Naseer & Hong (2015) استخدمت fNIRS لمقارنة النشاط الدماغي بين الأطفال المصابين بالتوحد والأطفال الطبيعيين، حيث وجدوا أن الأطفال المصابين لديهم استجابات دماغية مختلفة في القشرة الأمامية خلال التفاعل الاجتماعي . [21]

ب. تشخيص التغيرات الدماغية في الزهايمر

في دراسة (fNIRS) أظهرت النتائج الحديثة فعالية تقنية التصوير الطيفي للأشعة تحت الحمراء القريبة وتشخيص مجموعة متنوعة من الاضطرابات العصبية. ومن بين هذه الحالات، يُعد مرض الزهايمر أحد المجالات التي أثبتت فيها هذه التقنية قدرتها العالية على رصد التغيرات المبكرة. فقد كشفت الدراسات عن وجود أنماط غير طبيعية في تدفق الدم الدماغي لدى المرضى، خصوصاً في المناطق المرتبطة بالذاكرة كالقرن الصدغي الأوسط والحصين والقشرة الجبهية. وتُعزى هذه التغيرات إلى انخفاض النشاط العصبي الناتج عن التدهور التدريجي للخلايا العصبية.

ج. مراقبة إعادة التأهيل العصبي بعد السكتات الدماغية

السكتة الدماغية هي حالة طبية طارئة تحدث عندما يحدث انقطاع أو تقليل مفاجئ في تدفق الدم إلى جزء من الدماغ، مما يسبب نقصاً في الأوكسجين والعناصر الغذائية التي يحتاجها الدماغ للعمل بشكل طبيعي. يمكن أن تتسبب السكتة الدماغية في تلف الخلايا العصبية وفقدان بعض الوظائف العصبية التي تتحكم في الحركة، والتحدث، والتفكير. تعتبر تقنية fNIRS أداة فعالة في دراسة السكتة الدماغية، حيث توفر قياسات دقيقة للتغيرات في تدفق الدم الدماغية، مما يتيح فهم التغيرات العصبية التي تحدث بعد السكتة.

يستخدم fNIRS لمتابعة استجابة الدماغ لبرامج إعادة التأهيل بعد إصابات الدماغ الرضحية أو السكتات الدماغية، مما يساعد في تحديد مدى نجاح العلاج وتوجيه التدخلات العلاجية. وقد أظهرت انخفاضاً في مستويات الأوكسجين في المناطق المتضررة.

أمثلة على الأبحاث

دراسة (Scholkmann et al. (2014) أظهرت أن fNIRS يمكنه الكشف عن التحسن التدريجي في النشاط الدماغية لدى المرضى الذين يخضعون للعلاج الطبيعي بعد السكتة الدماغية. [22]

3-2 علم الأعصاب الاجتماعي

يستخدم fNIRS لدراسة كيفية تفاعل الدماغ مع الآخرين، حيث يمكنه قياس التزامن العصبي بين الأفراد أثناء التواصل والتفاعل الاجتماعي.

أمثلة على الأبحاث

بحث (Cui et al. (2012) استخدم fNIRS لتحليل التفاعل بين شخصين أثناء الحوار، ووجد أن النشاط الدماغية في القشرة الجبهية يظهر تزامناً متزايداً عند التواصل الفعال. [23]

2-4 التطبيقات في الأطفال والرضع

يعتبر fNIRS من الأدوات القيمة في دراسة الدماغ عند الأطفال والرضع، حيث أنه غير غازي ويسمح بمراقبة نشاط الدماغ أثناء النشاط اليومي للأطفال. يمكن استخدام fNIRS لدراسة نمو الدماغ والأنماط العصبية للأطفال أثناء تفاعلهم مع البيئة.

مثال: تم استخدام fNIRS في دراسة تطور الدماغ عند الرضع في دراسة (Miyake et al. (2017 التي حللت نشاط الدماغ أثناء مراقبة الاستجابات الحسية والحركية للرضع . [24]

2-5 التطبيقات في التعليم والتدريب

يتم استخدام fNIRS في التعليم لدراسة كيفية تعلم الدماغ في بيئات مختلفة، ويمكن أن يساعد في تحسين أساليب التدريس من خلال فهم كيفية تأثير نوع الأنشطة التعليمية على تفاعل الدماغ.

مثال: في دراسة (Liu et al. (2018 ، تم استخدام fNIRS لقياس النشاط الدماغي لطلاب أثناء حل مسائل رياضية، مما أظهر تفاعلات معقدة بين النشاط العقلي والتحفيز التعليمي . [25]

الفصل الثالث

مقارنة بين التقنيات

3-1 مقارنة بين تقنية الأشعة تحت الحمراء القريبة (fNIRS) وتقنية تخطيط الدماغ الكهربائي (EEG)

تعد تقنيتا الفحوصات باستخدام الأشعة تحت الحمراء القريبة (fNIRS) و تخطيط الدماغ الكهربائي (EEG) من الأساليب الرئيسية في دراسة نشاط الدماغ. في حين أن كل تقنية توفر مزايا معينة، فإن دمجها في نظام واحد يمكن أن يعزز القدرة على اكتشاف الأنماط العصبية ويوفر رؤية شاملة حول نشاط الدماغ.

1. التقنية الأساسية:

EEG تقنية لقياس النشاط الكهربائي للدماغ من خلال أقطاب كهربائية تُوضع على سطح الرأس. تتيح مراقبة التغيرات اللحظية في النشاط العصبي، ما يعكس التغيرات الفسيولوجية والنفسية للدماغ في الوقت الحقيقي. [26]

fNIRS تقنية لقياس التغيرات في مستويات الأوكسجين في الدماغ من خلال مراقبة تركيزات الهيموغلوبين المؤكسج وغير المؤكسج. توفر قياسًا غير جراحي ودقيقًا لمستوى الأوكسجين في الأنسجة العصبية، ما يساعد في تحديد التغيرات الدماغية [27].

2. الدقة الزمنية والمكانية:

EEG يتميز بدقة زمنية عالية جدًا في تحديد التغيرات اللحظية في النشاط العصبي، لكنه يعاني من دقة مكانية منخفضة، مما يعني أنه يصعب تحديد المواقع الدقيقة للنشاط في الدماغ. [28]

fNIRS يوفر دقة مكانية أعلى بسبب قدرته على قياس التغيرات في الأوكسجين داخل الدماغ، لكن دقته الزمنية أقل مقارنة بـ EEG [29].

3. القيود والتحديات:

EEG يواجه تحديات في تحديد المواقع الدقيقة للنشاط الدماغية في الأعماق بسبب التداخل بين الإشارات الكهربائية. كما أن وضع الأقطاب الكهربائية على فروة الرأس قد يؤدي إلى تقليل الدقة المكانية. [30]

fNIRS رغم دقته في تحديد موقع النشاط الدماغي، فإنه يتأثر بحركة الرأس أو تغيرات وضع المستشعرات، مما قد يؤدي إلى تقلبات في القياسات. كما أنه يعاني من ضعف في دقته الزمنية مقارنة بـ EEG [31].

4. التطبيقات العملية:

EEG يُستخدم بشكل رئيسي لدراسة الأنشطة الكهربائية للدماغ في الأمراض العصبية والنفسية. مناسب لدراسة الاستجابات اللحظية للدماغ تجاه التغيرات الخارجية أو المحفزات. [32]

fNIRS يُستخدم لدراسة تدفق الأوكسجين في الدماغ أثناء الأنشطة الإدراكية أو البدنية. يعتبر مثاليًا للاستخدامات طويلة الأمد ولقياسات الدماغ غير الجراحية [33].



الشكل 3-1 : (EEG)

3-2 المقارنة بين fMRI و fNIRS

يعد fMRI المعيار الذهبي في مجال التصوير العصبي الوظيفي نظرًا لدقته المكانية العالية وقدرته على تصوير مناطق الدماغ العميقة. يعتمد fMRI على قياس إشارة BOLD ، التي تعكس التغيرات في مستوى الأكسجين في الدم نتيجة للنشاط العصبي. ومع ذلك، فإن fNIRS يتميز بعدة جوانب تجعله أكثر مرونة في بعض التطبيقات.

أوجه التشابه بين fMRI و fNIRS

1. كلاهما يقيس التغيرات في الهيموغلوبين المؤكسج وغير المؤكسج كبديل غير مباشر للنشاط العصبي المصدر. [34]
2. كلاهما يوفر دقة مكانية مناسبة، وإن كانت fMRI تتفوق في هذا الجانب .
3. كلاهما يعتمد على استجابة الدورة الدموية (hemodynamic response) ، مما يحد من دقتها الزمنية مقارنة بـ EEG المصدر.:

أوجه الاختلاف بين fMRI و fNIRS

1. سهولة الاستخدام والراحة
 - في fMRI ، يجب أن يكون المشارك مستلقيًا داخل أنبوب مغناطيسي ضيق، مما قد يسبب إزعاجًا لبعض المرضى، خاصة الأطفال أو من يعانون من رهاب الأماكن المغلقة.
 - أما fNIRS فيسمح للمشاركين بالجلوس بشكل طبيعي، ويمكنهم أداء مهام على الحاسوب أو حتى المشي على جهاز المشي أثناء التسجيل، مما يجعله مثاليًا للتجارب التي تتطلب بيئة طبيعية أكثر. [27]
2. الحساسية للحركة
 - fMRI حساس جدًا للحركة، حيث يمكن لحركة بسيطة بمقدار بضعة مليمترات أن تؤدي إلى تشوه البيانات المسجلة.
 - أما fNIRS ، فهو أقل تأثرًا بالحركة، وهناك خوارزميات متقدمة تساعد في تصحيح التشوهات الناتجة عن الحركة أثناء الاستخدام .
3. التكلفة والتوافر
 - تُعد أنظمة fMRI باهظة الثمن، حيث يتراوح سعرها بين عدة ملايين الدولارات، مع تكلفة تشغيل تصل إلى مئات الدولارات لكل جلسة تصوير.
 - بالمقابل، يتراوح سعر أنظمة fNIRS بين 25,000 - 300,000 دولار، مما يجعلها أكثر سهولة في الاقتناء والاستخدام في المؤسسات البحثية الصغيرة والمستشفيات .

4. التطبيقات السريرية والبحثية لـfNIRS

1. الاستخدام مع الفئات الخاصة: نظرًا لكونه آمنًا وغير مزعج، يمكن استخدامه مع الأطفال الرضع والأفراد الذين يجدون صعوبة في استخدام fMRI.
2. التكامل مع EEG: يمكن الجمع بين fNIRS و EEG للحصول على بيانات أكثر شمولية حول النشاط العصبي والكهربائي للدماغ.



الشكل 2-3 : (FMIR)

الفصل الرابع

الاستنتاجات والتوصيات

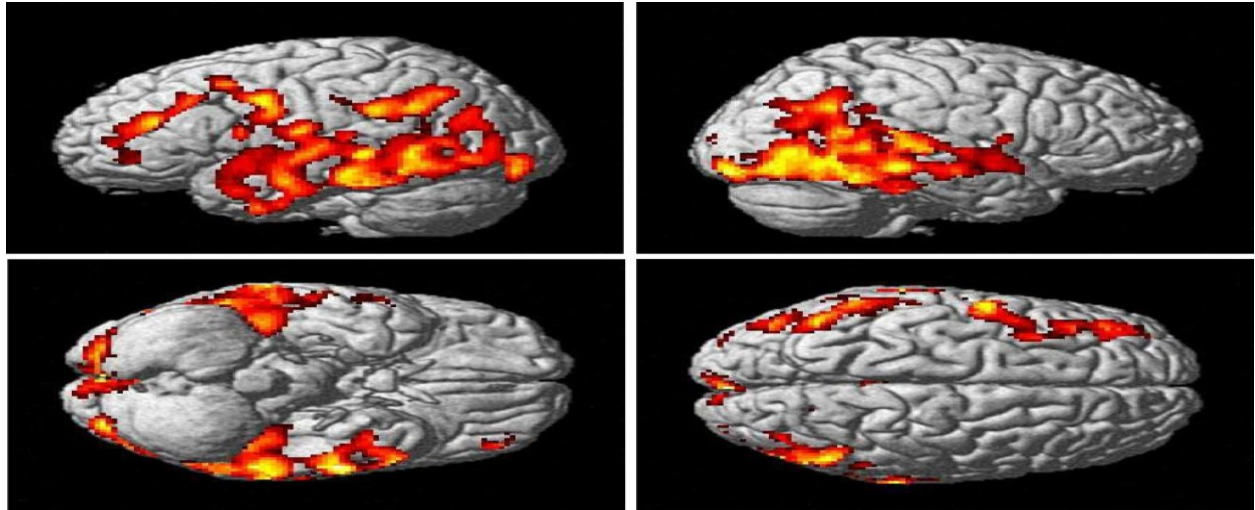
4-1 الاستنتاجات حول دراسة fNIRS

أظهرت دراسة من مايو كلينك أن هناك بصمات جزيئية فريدة تشير إلى خلل في الحاجز الدموي الدماغي عند الإصابة بمرض الزهايمر. النتائج، المنشورة في مجلة Nature Communications، تدل على إمكانية استخدام هذه البصمات كمؤشرات حيوية جديدة لرصد التغيرات الدماغية.

استخدم الباحثون أنسجة دماغية من 12 مريضاً بالزهايمر و12 مريضاً غير مصابين، وتحليل آلاف الخلايا في عدة مناطق بالدماغ. ركزت الدراسة على الخلايا الحَوَاطية والخلايا النجمية، مما يوفر رؤى جديدة لفهم المرض وتطوير استراتيجيات علاجية.

وقد ركّزوا في أبحاثهم على الخلايا الوعائية في الدماغ والتي تشكّل جزءاً صغيراً من أنواع الخلايا الموجودة في الدماغ وذلك لفحص التغيرات الجزيئية المرتبطة بمرض الزهايمر. وقد فحصوا، على وجه التحديد، نوعين من الخلايا التي لها دور بالغ الأهمية في الحفاظ على صحة الحاجز الدموي الدماغي، ألا وهي الخلايا الحَوَاطية – التي تمثّل الحصن المنيع في الدماغ للحفاظ على صحة الأوعية الدموية - والخلايا الداعمة لها والتي تُعرف بالخلايا النجمية، وذلك لتحديد إذا كانت تتفاعل أم لا وكيفية حدوث هذا التفاعل.

واكتشفوا أن العينات من المرضى المصابين بالزهايمر أظهرت خللاً في الاتصال بين هذه الخلايا، وتبيّن أن هذا الخلل مرتبط بجزيئين رئيسيين هما: عامل النمو البطاني الوعائي (VEGFA)، الذي يحفز نمو الأوعية الدموية، وجزيء SMAD3 الذي يضطلع بدور رئيسي في استجابة الخلايا للبيئة الخارجية. باستخدام النماذج الخلوية ونماذج أسماك الزرد، أكد الباحثون اكتشافهم بأن زيادة مستويات عامل النمو البطاني الوعائي تؤدي إلى انخفاض مستويات SMAD3 في الدماغ. [35]



الشكل 4-1 : (مناطق تأثيرات الدماغ بسبب الزهايمر)

كما تم دراسة السكتة الدماغية باستخدام تقنية التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء القريبة (fNIRS) في أبحاث السكتة الدماغية عدة جوانب هامة تتعلق بتقييم النشاط الدماغي واستجابة المرضى للعلاج.

1. قياس النشاط الدموي: أظهرت الدراسات أن fNIRS تمكنت من قياس التغيرات في مستويات الأكسجين وديوكسي هيموغلوبين في الدم، مما يُعكس النشاط العصبي في مناطق الدماغ المتأثرة بالسكتة. وقد أظهرت انخفاضاً في مستويات الأكسجين في المناطق المتضررة، مما يدل على ضعف الوظائف العصبية. كما قدمت fNIRS بيانات ديناميكية في الوقت الفعلي حول استجابة الدماغ للعلاج، مما يُساهم في تحسين اتخاذ القرارات السريرية.

2. مقارنة مع تقنيات أخرى: أثبتت الدراسات أن البيانات المستخلصة من fNIRS تكمل المعلومات المستخرجة من تقنيات التصوير الأخرى مثل الرنين المغناطيسي الوظيفي (fMRI). حيث توفر fNIRS دقة مكانية جيدة في تحديد المناطق المتضررة، مما يُعزز فهم تأثير السكتة الدماغية على النشاط الدماغي.

3. تطبيقات سريرية: استخدمت fNIRS في تقييم استجابة المرضى للعلاج الطبيعي، مما يساعد في تخصيص العلاجات بشكل يتناسب مع استجابة كل مريض. وقد أظهرت النتائج أن استخدام هذه التقنية يُمكن أن يُحسن من فعالية البرامج التأهيلية.

4. تحسينات في التعافي: ساعدت fNIRS في تتبع التغيرات في نشاط الدماغ خلال فترة التعافي، مما يتيح قياس فعالية التدخلات العلاجية. بالإضافة إلى ذلك، تشير بعض الدراسات إلى إمكانية استخدام fNIRS للتنبؤ بنتائج التعافي، مما يُساعد الأطباء في توجيه خطط العلاج بشكل أكثر فعالية.

بناءً على هذه النتائج، يُمكن القول إن تقنية fNIRS تُعد أداة قيمة في أبحاث السكتة الدماغية، حيث تقدم رؤى هامة حول التغيرات العصبية والدموية التي تحدث بعد الإصابة، مما يُساهم في تحسين العلاجات والنتائج للمرضى.

4-2 التوصيات حول دراسة fNIRS

1. زيادة استخدام fNIRS في الأبحاث السريرية

يُوصى بتوسيع استخدام fNIRS في الدراسات السريرية لمراقبة الأنشطة العصبية لدى المرضى المصابين بالأمراض العصبية مثل الخرف والسكتات الدماغية. يمكن أن يسهم هذا في تحسين طرق التشخيص والتقييم العلاجي.

2. تطوير تقنيات fNIRS لمزيد من الدقة

يجب تحسين دقة القياسات في fNIRS من خلال تطوير أدوات وأجهزة متقدمة لزيادة قدرة التقنية على التعامل مع تشويش الإشارات وتحسين القراءات في بيئات مختلفة.

3. استخدام fNIRS في الأبحاث المتعلقة بالأطفال

نظرًا لأن fNIRS لا يتطلب تدخلًا جراحيًا أو مؤلماً، يُوصى باستخدامه في دراسات الأطفال لفهم تطور الدماغ في المراحل المبكرة، وكذلك دراسة تأثير الاضطرابات العصبية على النمو العقلي للأطفال.

4. توفير التدريب المتخصص للباحثين

من المهم توفير تدريب متخصص للباحثين في استخدام fNIRS بشكل فعال، بحيث يتمكنون من تفسير البيانات بدقة وضمان فهمهم لكيفية تحسين الأجهزة والأنظمة.

5. الاستمرار في تحسين التكامل مع تقنيات أخرى

يُوصى بالاستمرار في تحسين التكامل بين fNIRS وتقنيات التصوير العصبي الأخرى مثل EEG وfMRI، مما يسمح بزيادة الدقة في قياس النشاط العصبي وفهم أفضل للتفاعل بين هذه الأنظمة.

المصادر

- [1] P.T. Fox, M.E. Raichle, M.A. Mintun, and C. Dence, "Nonoxidative glucose consumption during focal physiologic neural activity," *Science*, vol. 241, pp. 462-464, 1988.
- [2] R.B. Buxton, "Commentary: The elusive initial dip," *NeuroImage*, vol. 13, pp. 953-958, 2001.
- [3] H. Obrig and A. Villringer, "Beyond the visible-imaging the human brain with light," *J. Cerebral Blood Flow Metabolism*, vol. 23, pp. 1-18, 2003.
- [4] B. Chance, E. Anday, S. Nioka, S. Zhou, L. Hong, K. Worden, C. Li, T. Murray, Y. Ovetsky, D. Pidikiti, and R. Thomas, "A novel method for fast imaging of brain function, non-invasively, with light," *Opt. Express*, vol. 2, no. 10, 1998.
- [5] Jobsis, F. 1977. Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters. *Science* 198: 1264-1267.
- [6] Jobsis, F.F. 1999. Discovery of the near-infrared window into the body and the early development of near-infrared spectroscopy. *J. Biomed. Opt.* 4: 392-396.
- [7] Scholkmann, F., S. Kleiser, A.J. Metz, et al. 2014. A review on continuous wave functional near-infrared spectroscopy and imaging instrumentation and methodology instrumentation and methodology. *Neuroimage* 85: 6-27.
- [8] Nippert, A.R., K.R. Biesecker & E.A. Newman. 2018. Mechanisms mediating functional hyperemia in the brain. *Neuroscientist* 24: 73-83.
- [9] K. Izzetoglu, S. Bunce, B. Onaral, K. Pourrezaei, and B. Chance, "Functional optical brain imaging using near-infrared during cognitive tasks," *Int. J. Human-Comp. Interaction*, vol. 17, no. 2, pp. 211-227, 2003.
- [10] G. Strangman, D.A. Boas, and J.P. Sutton, "Non-invasive neuroimaging using near-infrared light," *Biol. Psych.*, vol. 52, no. 7, pp. 679-693, 2002.

- [11] The NIR light is chosen because it penetrates biological tissues, providing non-invasive measurements of brain activity." (Hoshi, Y., 2003).
- [12]"Laser diodes and LEDs are both used in fNIRS systems; lasers offer higher intensity, while LEDs are simpler and more energy-efficient." (Gratton, G., et al., 2000).
- [13]Photodetectors in fNIRS systems, especially photodiodes, are critical for measuring changes in light attenuation, which are related to brain activity and oxygenation levels." (Boas, D. A., et al., 2004)
- [14] Obrig, H., & Villringer, A. (2003). Beyond the visible—Imaging the human brain with light. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 23(1), 1-18.
- [15] : Huppert, T. J., et al. (2006). HomER: a review of time-series analysis methods for near-infrared spectroscopy of the brain. *Applied Optics*, 45(12), 2715-2731.
- [16] Plichta, M. M., et al. (2007). Event-related functional near-infrared spectroscopy (fNIRS): a systematic. *NeuroImage*, 35(3), 1386-1393.
- [17] : Plichta, M. M., et al. (2007). Event-related functional near-infrared spectroscopy (fNIRS): a systematic review. *NeuroImage*, 35(3), 1386-1393.
- [18] Scholkmann, F., et al. (2014). A review on continuous wave functional near-infrared spectroscopy and imaging instrumentation and methodology. *NeuroImage*, 85, 6-27.
- [19]Cutini, S., Brigadoi, S., & Zorzi, M. (2011). "Functional near-infrared optical imaging in cognitive neuroscience". *NeuroImage*, 56(2), 955-960.
- [20] Pinti, P., et al. (2020). "The present and future use of fNIRS in cognitive neuroscience". *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1464(1), 5-29.
- [21] Naseer, N., & Hong, K. S. (2015). "fNIRS-based brain-computer interfaces: a review". *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 3.

- [22] Scholkmann, F., et al. (2014). "A review on continuous wave functional near-infrared spectroscopy and imaging instrumentation and methodology". *NeuroImage*, 85, 6-27.
- [23] Cui, X., Bryant, D. M., & Reiss, A. L. (2012). "NIRS-based hyperscanning reveals increased inter-brain synchrony during cooperative social interaction". *NeuroImage*, 59(3), 2430-2437.
- [24] Miyake, H., et al. (2017). "Development of brain activity in infants and toddlers using near-infrared spectroscopy". *Developmental Cognitive Neuroscience*, 24, 63-73.
- [25] Liu, Z., et al. (2018). "Real-time monitoring of brain activity during arithmetic problem solving in children using fNIRS". *Journal of Educational Psychology*, 110(5), 698-710.
- [26] Minguillon, J.; Lopez-Gordo, M.A.; Pelayo, F. Trends in EEG-BCI for daily-life: Requirements for artifact removal. *Biomed. Signal Process Control* 2017, 31, 407–418. [CrossRef]
- [27] Villringer, A.; Chance, B. Non-invasive optical spectroscopy and imaging of human brain function. *Trends Neurosci.* 1997, 20, 435–442. [CrossRef] [PubMed].
- [28] Liu, D.; Liu, S.; Liu, X.; Zhang, C.; Li, A.; Jin, C.; Chen, Y.; Wang, H.; Zhang, X. Interactive Brain Activity: Review and Progress on EEG-Based Hyperscanning in Social Interactions. *Front. Psychol.* 2018, 9, 1862. [CrossRef] [PubMed]
- [29] Croce, P.; Zappasodi, F.; Merla, A.; Chiarelli, A.M. Exploiting neurovascular coupling: A Bayesian sequential Monte Carlo approach applied to simulated EEG fNIRS data. *J. Neural. Eng.* 2017, 14, 046029. [CrossRef]

- [30] Ahn, S.; Jun, S.C. Multi-Modal Integration of EEG-fNIRS for Brain Computer Interfaces—Current Limitations and Future Directions (vol 11, 503, 2017). *Front. Hum. Neurosci.* 2021, 15, 1. [CrossRef] [PubMed]
- [31] Lüthmann, A.v.; Wabnitz, H.; Sander, T.; Müller, K.R. M3BA: A Mobile, Modular, Multimodal Biosignal Acquisition Architecture for Miniaturized EEG-NIRS-Based Hybrid BCI and Monitoring. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 2017, 64, 1199–1210. [CrossRef] [PubMed]
- [32] Minguillon, J.; Lopez-Gordo, M.A.; Pelayo, F. Trends in EEG-BCI for daily life: Requirements for artifact removal. *Biomed. Signal Process Control* 2017, 31, 407–418. [CrossRef]
- [33] Villringer, A.; Chance, B. Non-invasive optical spectroscopy and imaging of human brain function. *Trends Neurosci.* 1997, 20, 435–442. [CrossRef] [PubMed]
- [34] L. Pauling and C.D. Coryell, “The magnetic properties and structure of hemo- globin, oxyhemoglobin and carbonmonoxyhemoglobin,” *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.*, vol. 22, pp. 210–216, 1936
- [35] Winkler, Ethan A., Abhay P. Sagare, and Berislav V. Zlokovic. "The Pericyte: A Forgotten Cell Type with Important Implications for A Alzheimer's Disease?." *Brain pathology* 24.4 (2014): 371-386.