

POTENSI PEMANFAATAN FUNCTIONAL NEAR-INFRARED SPECTROSCOPY PADA PENELITIAN PSIKOLOGI

Rizki Edmi Edison

Pusat Neurosains, Universitas Muhammadiyah Prof Dr HAMKA
e-mail: rizkiedmiedison@uhamka.ac.id

Submitted: 2021-08-06

Published: 2022-06-02

DOI: 10.24036/rapun.v12i2.114030

Accepted: 2022-01-06

Abstract: Potential Utilization of Functional Near-Infrared Spectroscopy in Psychological Research. One of the classical problem that faced by reseachers on conventional method of research is the potential bias results that conducted by probable participants. Therefore, an approach to gain bias fress and more objective data is needed to be implemented such as the use of neuroimaging technology. Up to now, many intruments could be used for research on psychology especially cognitive-related-field. Since non-invasiveness, capability of real-time measurement, and mobility or practicality of instrument with allowing of freely-moving participants must be considered factors, functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) have potential as rational choice for research of cognition. In this study, we describe the basic concept of fNIRS and applications to measure human brain in research.

Keywords: fNIRS, brain, research, psychology, neuroimaging

Abstrak: Potensi Pemanfaatan functional Near-Infrared Spectroscopy pada Penelitian Psikologi. Salah satu permasalahan klasik yang dihadapi oleh para peneliti di metode konvensional dalam riset adalah adanya potensi hasil yang bias, yang kemungkinan disebabkan oleh faking-good para partisipan. Oleh sebab itu satu pendekatan guna mendapatkan data yang bebas bias dan lebih objektif perlu diimplementasikan seperti penggunaan teknologi pencitraan otak. Hingga saat ini, berbagai instrumen bisa digunakan untuk riset psikologi khususnya yang terkait dengan kognisi. Dikarenakan sifat non-invasive, kemampuan penilaian secara real-time, mobilitas atau kepraktisan instrumen beserta diperbolehkannya kebebasan bergerak partisipan adalah hal-hal yang harus dipertimbangkan, maka functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) memiliki potensi sebagai pilihan rasional untuk riset kognisi. Dalam studi ini, kami menjabarkan konsep dasar fNIRS dan aplikasinya dalam mengukur otak manusia di riset.

Kata kunci : fNIRS, otak, riset, psikologi, pencitraan otak

PENDAHULUAN

Dalam dunia profesi kedokteran, penentuan diagnosis penyakit yang diidap pasien oleh dokter secara umum dilandaskan pada tiga hal (Peterson et al., 1992): anamnesis, pemeriksaan fisik, dan pemeriksaan penunjang. Di antara ketiga hal tersebut, anamnesis atau wawancara dokter kepada pasien memiliki peran yang krusial (Muhrrer, 2014). Begitupun halnya yang dilakukan di ranah psikologi, di mana komunikasi antara psikologi dan klien menjadi sumber informasi utama oleh psikolog untuk mengetahui permasalahan psikologis yang dialami oleh klien (Cataldo, Chang, Mendoza, & Buchanan, 2021).

Sayangnya, di saat terjadinya komunikasi tersebut, tidak tertutup kemungkinan munculnya situasi yang dinamakan sebagai *faking good* sehingga menghasilkan data yang bias dan tidak objektif (Fairuz Izdihar et al., 2019). Kondisi di mana seseorang memberikan jawaban sebegitu rupa agar mendapatkan kesan positif dari pewawancara, dalam hal ini bisa seorang dokter ataupun psikolog. Fenomena yang cukup sering terjadi di dunia kerja khususnya pada saat wawancara kerja (Bourdage, Roulin, & Levashina, 2017), nyatanya bisa terjadi pula di ranah klinis seperti kesehatan dan psikologi. Oleh karenanya, peran

pemeriksaan penunjang berbasis teknologi pencitraan otak untuk mengetahui fungsi otak manusia (Brammer, 2009) sehingga bisa meminimalisir potensi hasil bias serta meningkatkan objektivitas perlu menjadi pilihan utama guna membantu psikolog. Pada studi ini, kami memaparkan potensi pemanfaatan *functional near-infrared spectroscopy* (fNIRS) sebagai salah satu teknologi pencitraan otak yang bisa dimanfaatkan untuk penelitian psikologi.

METODE PENELITIAN

Guna menghasilkan tinjauan pustaka yang komprehensif terkait implementasi teknologi pencitraan otak khususnya fNIRS di bidang riset psikologi, studi pustaka ini dilakukan berbasis rekomendasi PRISMA.

Kriteria

Dikarenakan studi ini difokusikan pada *electroencephalography* (EEG) dan fNIRS dengan potensi pemanfaatannya di bidang psikologi, artikel ilmiah yang memuat informasi-informasi tersebut dijadikan sumber baik dalam bentuk Bahasa Inggris maupun Bahasa Indonesia. Jangka waktu publikasi tidak dibatasi. Artikel ilmiah akan dikeluarkan dari sumber studi pustaka jika tidak memberi penjelasan pemanfaatan teknologi pencitraan otak di bidang

psikologi. Sumber-sumber pustaka yang berasal dari media massa ataupun blog juga tidak dimasukkan sebagai referensi pada studi ini.

Sumber Informasi

Artikel ilmiah berbasis riset yang dijadikan sumber disadur berbasis *Pubmed*, *Web of Science*, dan *Google Scholar*.

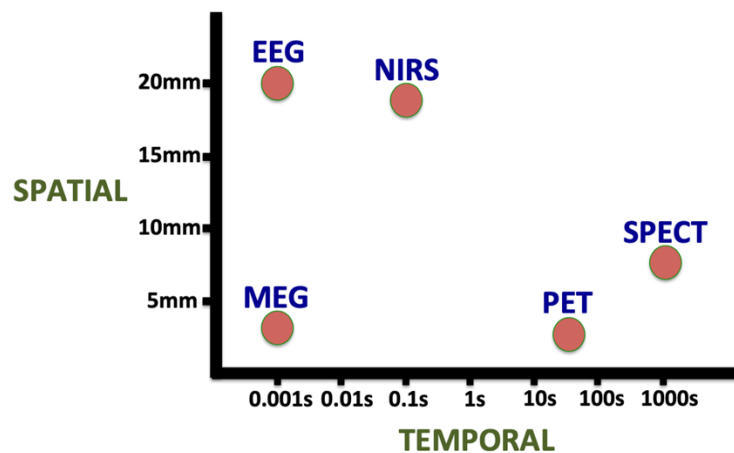
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemilihan Instrumen Pencitraan Otak

Secara sederhana, metode yang bisa digunakan untuk mengetahui fungsi otak terdiri dari dua pilihan (Weiss Lucas et al., 2020): invasive atau non-invasive. Metode invasive adalah pendekatan yang dilakukan dengan cara melukai kepala manusia untuk melihat secara langsung otak manusia. Dimulai dari proses pembiusan, lalu memotong kulit kepala, membuka sebagian tulang tengkorak, menyayat lapisan pembungkus otak, sehingga akhirnya lapisan terluar otak (cerebral cortex) terlihat, untuk selanjutnya dilakukan pemeriksaan sesuai kebutuhan. Hanya saja, metode invasive ini hanya bisa dilakukan oleh dokter bedah saraf dengan indikasi klinis yang jelas. Selain itu,

cara invasive ini memiliki resiko besar (Tavakoli, Peitz, Ares, Hafeez, & Grandhi, 2017) seperti terjadinya infeksi dan perdarahan. Satu hal yang tidak mungkin dipilih oleh psikolog. Maka, metode kedua berupa non-invasive di mana fungsi otak dapat dianalisis tanpa perlu melukai otak manusia bisa menjadi pilihan rasional bagi psikolog.

Untuk mengetahui fungsi atau aktivitas otak secara non-invasive, maka dalam pemilihan instrumen pencitraan otak perlu diperhatikan dua resolusi (Sklerov, Dayan, & Browner, 2019): spatial dan temporal. Sebagaimana yang diperlihatkan pada Gambar 1, spatial merujuk pada luas penampang minimal otak yang diperlukan untuk satu data perekaman otak. Semakin kecil luas penampang yang diperlukan, maka semakin detil hasil pemeriksaan fungsi otak yang bisa dianalisis. Adapun resolusi temporal merujuk kepada kemampuan instrumen pencitraan otak untuk mampu merekam otak manusia yang teraktivasi. Semakin sedikit waktu yang diperlukan oleh instrumen tersebut, maka semakin baik pula nantinya interpretasi data fungsi otak yang diperiksa.



Gambar 1. Resolusi spasial dan temporal instrument pencitraan otak yang merekam aktivitas otak manusia. Tampak pada gambar bahwa MEG memiliki resolusi spasial dan temporal yang paling baik (diadaptasi dari Zamrini et al., 2011)

Sekalipun resolusi spasial dan temporal suatu teknologi adalah baik, namun perlu diperhatikan dua hal krusial dalam pemilihan instrumen pencitraan otak khususnya di bidang psikologi dan neurosains di Indonesia: mobilitas instrumen dan kebebasan bergerak partisipan (Piper et al., 2014). Berdasarkan pengalaman-pengalaman kami melakukan penelitian fungsi otak manusia, maka unsur kepraktisan operasional instrumen pencitraan otak pun harus dipertimbangkan.

Instrumen pencitraan fungsi otak seperti *magnetoencephalography* (MEG), *functional magnetoencephalography* (fMRI), *positron emission tomography* (PET), dan *single photon emission computed tomography* (SPECT) memiliki kelebihan mampu merekam bagian *cortical brain* (lapisan terluar otak

manusia) dan *deep brain* (lapisan dalam otak manusia) dengan kelebihan tambahan berupa resolusi spasial dan temporal yang baik, namun instrumen-instrumen tersebut tidak praktis digunakan, tidak memiliki mobilitas, dan tidak memberi kebebasan bergerak pada partisipan yang diteliti. Ketidakbebasan bergerak tersebut bisa berakibat pada berkurangnya pilihan metode pemeriksaan ataupun stimulus yang diberlakukan kepada partisipan tersebut. Oleh karenanya, instrumen berupa *electroencephalography* (EEG) dan fNIRS meskipun hanya mampu menilai *cortical brain*, namun karena memiliki kelebihan yang krusial berupa kepraktisan penggunaan, mobilitas alat, dan kebebasan bergerak partisipan menjadikan instrumen-instrumen tersebut layak dijadikan pilihan.

EEG

EEG adalah instrumen standar emas untuk menilai fungsi otak manusia secara *non-invasive* (Rosenow, Klein, & Hamer, 2015), di mana *field potential* yang muncul pada *cerebral cortex* ditangkap oleh elektroda yang ditempelkan pada kulit kepala. Peletakan elektroda yang umum digunakan untuk memeriksa otak manusia berupa *10-20 international system* (Homan, Herman, & Purdy, 1987) di mana masing-masing elektroda mewakili regio tertentu, seperti Fp1 merepresentasikan *prefrontal cortex* kiri, T6 mewakili regio *lobus temporal* depan kanan, O1 menunjukkan wilayah *occipital* kiri, dan sebagainya. Kemampuan EEG untuk melakukan pemeriksaan dalam jangka waktu yang lama dan berkembangnya teknologi komputasi sehingga data perekaman yang sangat besar bisa disimpan, menjadikan EEG banyak digunakan untuk pemeriksaan penyakit otak seperti epilepsi.

Dengan menggunakan EEG, ada dua domain yang bisa dinilai (Munneke, Nap, Schippers, & Cohen, 2015): waktu dan frekuensi. Domain waktu merujuk pada penilaian perubahan bentuk gelombang otak sesuai dengan perjalanan waktu. Jika partisipan yang diteliti fungsi otaknya diberikan stimulasi pada waktu-waktu tertentu, maka pemeriksaan fungsi otak

berupa *event-related-potential* (ERP) merupakan pemeriksaan domain waktu (Li et al., 2020). Sedangkan domain frekuensi menunjukkan penilaian frekuensi gelombang otak di regio tertentu dalam jangka waktu pemeriksaan tertentu pula. Pada pemeriksaan dengan domain frekuensi, partisipan tidak diberikan stimulasi tertentu, namun perekaman otak dalam rentang waktu tertentu itu dikomputasi untuk mengetahui gelombang otak yang dominan di regio otak yang dinilai. Pada penelitian fungsi otak dengan menggunakan stimulasi untuk merangsang aktivitas otak, maka domain yang diperiksa adalah domain waktu berbasis ERP.

Permasalahannya, analisis aktivitas otak yang ditunjukkan oleh EEG berbasis domain waktu tersebut khususnya untuk penelitian tidaklah sama seperti penegakan diagnosis penyakit. Contoh gejala seperti kejang yang perlu diperiksa dengan EEG akan bisa ditegakkan diagnosis epilepsi jika pada *electroencephalogram* ditemukan adanya *ictal spike* (Capovilla et al., 2011), *desynchronization* (Wyler, Lockard, Ward, & Finch, 1976), *theta burst* (Roberts, Franzen, & Varney, 2001), dan sebagainya. Penegakan diagnosis epilepsi tersebut bisa dilakukan dengan menemukan tanda-tanda yang bisa ditemukan melalui observasi saja. Akan tetapi, observasi semacam itu tidak

bisa digunakan dalam penilaian fungsi otak time domain. Diperlukan satu pendekatan baru untuk melakukan analisis gelombang otak dengan metode *quantitative electroencephalography* (qEEG) (Surmeli et al., 2016).

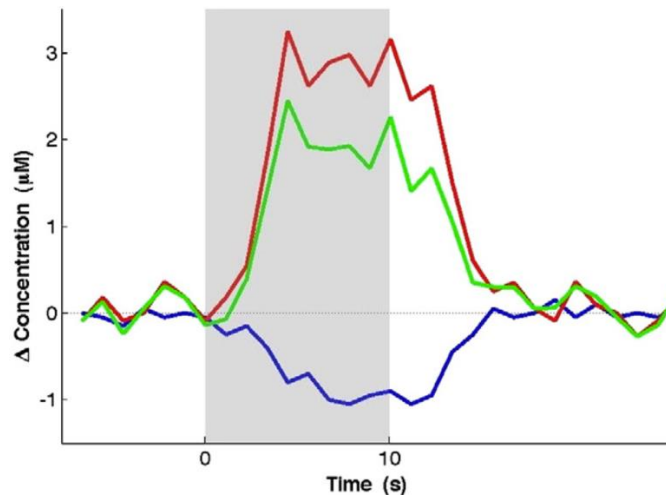
Untuk memudahkan interpretasi aktivitas otak seperti kognisi, fNIRS berpotensi dimanfaatkan secara praktis di penelitian psikologi. Pada studi pustaka ini, prinsip kerja dan pemanfaatan fNIRS untuk penelitian psikologi dijabarkan secara komprehensif.

Basis Aktivitas Otak yang Dinilai fNIRS

Kala otak mengalami aktivasi saat mengeksekusi berbagai macam tugas yang dihadapi, metabolisme otak membutuhkan adanya peningkatan kadar oksigen (O_2) (Watts, Pocock, & Claudianos, 2018). Sayangnya, di dalam otak tidak terdapat regio atau organ spesifik yang mampu menyimpan O_2 kala dibutuhkan. Akibatnya, jika otak sedang beraktivasi dan membutuhkan asupan oksigen, terjadi peningkatan aliran darah di dalam pembuluh (cerebral blood flow/CBF) di regio otak yang sedang beraktivasi tersebut (Villringer & Dirnagl, 1995). Peningkatan CBF sebagai respon akan pemenuhan

kecukupan asupan O_2 ini dinamakan sebagai functional hyperemia yang dimediasi oleh berbagai mekanisme neurovascular coupling seperti pelebaran diameter pembuluh darah otak (Jespersen & Østergaard, 2012). Fakta bahwa O_2 yang terikat di dalam hemoglobin (Hb), Hb yang berada di dalam eritrosit, dan eritrosit yang mengalir di dalam aliran darah menyebabkan peningkatan CBF berdampak pada penambahan kadar oxy-hemoglobin (HbO_2) dan pengurangan kadar deoxy-hemoglobin (HbR). Oleh sebab itu, data akan peningkatan kadar HbO_2 di regio otak tertentu pada saat teraktivasi kala menjalankan tugas menjadi representasi secara tidak langsung aktivitas otak manusia yang bisa dinilai dalam penelitian psikologi.

Gambaran tipikal hasil perekaman salah satu kanal fNIRS diperlihatkan sebagaimana pada Gambar 2. Peningkatan HbO_2 dan penurunan HbR merefleksikan peningkatan vasodilatasi arterial lokal. Penambahan kadar oksigen ke regio otak yang membutuhkannya pada saat terjadinya aktivasi otak sejatinya melebihi kebutuhan sehingga jumlah O_2 melimpah.



Gambar 2. Gambaran tipikal aktivasi cerebral cortex oleh fNIRS (diadaptasi dari: (Ferrari & Quaresma, 2012). Garis merah menunjukkan HbO₂, sedangkan HbR diperlihatkan oleh garis biru. Adapun garis hijau mewakili nilai rerata HbO₂ dan HbR, dinamakan total hemoglobin. Latar warna abu-abu mengindikasikan durasi stimulus yang dilakukan.

Prinsip Kerja fNIRS

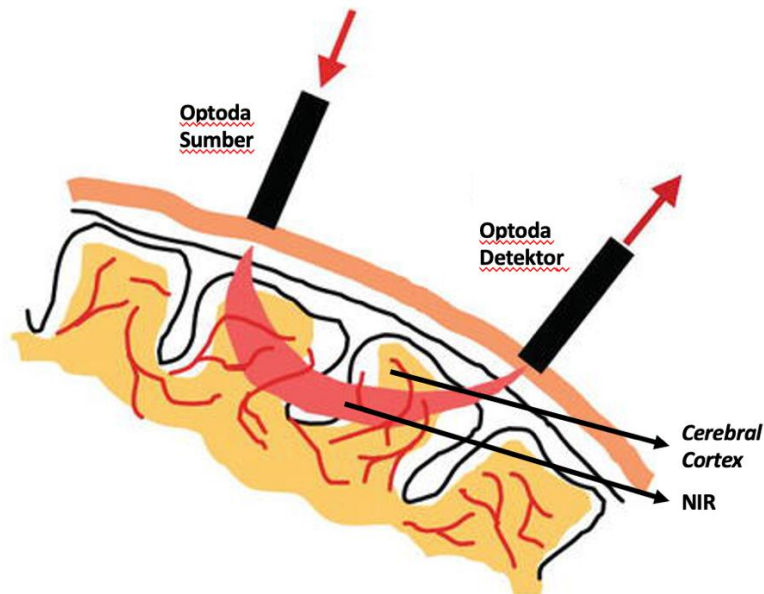
fNIRS merupakan instrumen pencitraan otak yang bersifat non-invasive dengan teknologi optikal yang bisa mengukur perubahan kadar HbO₂ dan HbR dalam jaringan otak melalui pemanfaatan sinar inframerah atau near-infrared (NIR) (Almajidy, Mankodiya, Abtahi, & Hofmann, 2020). Pengembangan fNIRS dimulai dari penemuan akan NIR di dalam tubuh manusia, yang berawal dari pengamatan fenomena sinar merah yang mampu menembus daging saat dihadapkan pada cahaya (Jö Bsis-Vandervliet, 1999). Penemuan itu menjadi petunjuk bahwa sinar merah bahkan NIR memiliki

kemungkinan untuk bisa melewati kulit kepala dan tulang tengkorak hingga akhirnya menyentuh cerebral cortex. Dengan panjang gelombang NIR 650 – 950nm akhirnya sinar tersebut mampu mencapai jaringan otak (Scholkmann et al., 2014).

Salah satu keunggulan teknologi fNIRS adalah penggunaan *fiber optics* yang fleksibel sehingga mampu menghantarkan NIR melalui optoda sumber dan detektor ke dan dari jaringan (Gambar 3). Agar NIR bisa menggapai jaringan otak dari kulit kepala, yang berjarak 1,5cm, maka jarak ideal antara sumber dan detektor NIR adalah 3cm (Pinti, Scholkmann, Hamilton,

Burgess, & Tachtsidis, 2019). *Fiber optic* yang digunakan tersebut sangat cocok untuk berbagai macam posisi kepala sehingga faktor kebebasan bergerak partisipan kala dilakukan pemeriksaan bisa

terpenuhi. Hal ini menjadikan perekaman fungsi otak dengan fNIRS bisa dilaksanakan di lingkungan natural tanpa perlu adanya penguncian posisi tubuh partisipan ataupun sedasi.



Gambar 3. Gambaran NIR yang bergerak dari optoda sumber melewati jaringan otak menuju optoda detektor. Satu optoda sumber dan detektor akan menghasilkan satu kanal NIR

Sebelum mencapai jaringan otak, NIR harus melewati berbagai lapisan terlebih dahulu berupa kulit kepala, tulang tengkorak, lapisan pembungkus otak, bahkan cairan otak yang masing-masingnya memiliki properti optikal yang berbeda-beda. Meskipun interaksi antara NIR dengan beragam lapisan tersebut sangatlah kompleks akibat sifat anisotropic dan inhomogeneous masing-masing lapisannya, hal tersebut bisa teratasi dengan atenuasi NIR melalui proses absorpsi dan

penyebaran (scattering) (Haeussinger et al., 2011). Dikarenakan komponen yang paling bisa mengabsorpsi NIR di dalam tubuh adalah Hb, maka fNIRS mampu mengukur kadar saturasi oksigen dalam Hb tersebut dalam bentuk oxygenated (dinamakan HbO_2) dan deoxygenated (dinamakan HbR). Semakin banyak NIR yang terabsorpsi oleh Hb di suatu regio otak, menunjukkan bahwa regio tersebut mengalami aktivasi.

Satu pasang optoda sumber dan detektor berjarak 3cm (Gambar 3) menghasilkan satu kanal NIR. Adapun jumlah kanal yang digunakan dalam pemeriksaan fungsi otak dengan fNIRS ditentukan oleh regio otak

yang akan diteliti ataupun keputusan dari para peneliti itu sendiri. Umumnya, untuk penelitian kognisi yang prosesnya terjadi di sejumlah luas regio otak tertentu, maka digunakan multi kanal fNIRS (Gambar 4).



Gambar 3. Contoh peletakan detektor fNIRS di kepala partisipan di regio fronto temporal dan temporo occipital. Optoda berwarna merah adalah detektor sumber, sedangkan optoda berwarna biru adalah detektor penerima. Satu pasang optoda detektor dan sumber menghasilkan satu kanal NIR. (disadur dari (Soltanlou, Sitnikova, Nuerk, & Dresler, 2018)

Kapabilitas fNIRS sebagai instrumen yang memungkinkan partisipan untuk bergerak ditunjukkan salah satunya melalui peletakan optode fNIRS yang diletakkan pada kepala partisipan yang ditugaskan untuk beraktivitas fisik guna menganalisis kaitan antara peningkatan frekuensi nafas dan jantung terhadap perubahan kadar HbO₂ di regio otak (Neary, Dudé, Singh, Len, & Bhambhani, 2020). Selain itu, dengan dimungkinkannya partisipan untuk bergerak, maka pemeriksaan fungsi otak balita pun dimungkinkan (Cristia et al., 2013), sekalipun balita sebagai partisipan sulit untuk bertenang dan bergerak selama pemeriksaan berlangsung. Lebih jauh, kelebihan instrumen pencitraan otak yang memungkinkan kebebasan bergerak pada partisipan menjadikan fNIRS sebagai instrument yang bisa digunakan untuk bidang klinis

seperti pada pemeriksaan sumber kejang pasien epilepsi (Rizki et al., 2015). Selama pemeriksaan epilepsi yang mengharuskan perekaman dalam jangka waktu yang lama, adanya kebebasan bergerak yang dimiliki pasien menjadikan potensi timbulnya stres bisa diminimalisir. Mobilitas yang dimiliki oleh instrumen pencitraan otak beserta kepraktisan yang ada pada instrumen tersebut menjadikan penelitian mengenai otak manusia khususnya kognisi di bidang psikologi menjadikan pemeriksaan bisa dilakukan di mana saja.

DAFTAR RUJUKAN

- Almajidy, R. K., Mankodiya, K., Abtahi, M., & Hofmann, U. G. (2020). A newcomer's guide to functional near infrared spectroscopy experiments. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, Vol. 13, pp. 292–308. Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://doi.org/10.1109/RBME.2019.2944351>
- Bourdage, J. S., Roulin, N., & Levashina, J. (2017, July 28). Editorial: Impression management and faking in job interviews. *Frontiers in Psychology*, Vol. 8. Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01294>
- Brammer, M. (2009). The role of neuroimaging in diagnosis and personalized medicine-current position and likely future directions. *Dialogues Clin Neurosci*, 11(4), 389–396. Retrieved from www.dialogues-cns.org
- Capovilla, G., Beccaria, F., Bianchi, A., Canevini, M. P., Giordano, L., Gobbi, G., ... Pruna, D. (2011). Ictal EEG patterns in epilepsy with centro-temporal spikes. *Brain and Development*, 33(4), 301–309. <https://doi.org/10.1016/j.braindev.2010.06.007>
- Cataldo, F., Chang, S., Mendoza, A., & Buchanan, G. (2021). A Perspective on Client-Psychologist Relationships in Videoconferencing Psychotherapy: Literature Review. *JMIR Ment Health*, 8(2).
- Cristia, A., Dupoux, E., Hakuno, Y., Lloyd-Fox, S., Schuetze, M., Kivits, J., ... Minagawa-Kawai, Y. (2013, March 15). An Online Database of Infant Functional Near InfraRed Spectroscopy Studies: A Community-Augmented Systematic Review. *PLoS ONE*, Vol. 8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0058906>
- Fairuz Izdihar, D., Ravi Fauzi, F., Ayu Aguspa Dita, D., Putri Aransih, M., Prawiroharjo, P., Risman, E., & Edmi Edison, R. (2019). Faking Good Among Porn-Addicted Adolescents. *PROCEEDING of International Conference of Mental Health, Neuroscience, and Cyberpsychology*, 6–10. Redwhite Press. <https://doi.org/10.32698/25251>
- Ferrari, M., & Quaresma, V. (2012). A brief review on the history of human functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) development and fields of application. *Neuroimage*, 63(2), 921–935.
- Haeussinger, F. B., Heinzl, S., Hahn, T., Schecklmann, M., Ehlis, A. C., & Fallgatter, A. J. (2011). Simulation of near-infrared light absorption considering individual head and prefrontal cortex anatomy: Implications for optical neuroimaging. *PLoS ONE*, 6(10).

- <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0026377>
- Homan, R. W., Herman, J., & Purdy, P. (1987). Cerebral location of international 10-20 system electrode placement. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 66(4), 376–382.
- Jespersen, S. N., & Østergaard, L. (2012). The roles of cerebral blood flow, capillary transit time heterogeneity, and oxygen tension in brain oxygenation and metabolism. *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism*, 32(2), 264–277. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2011.153>
- Jö Bsis-Vandervliet, F. F. (1999). DISCOVERY OF THE NEAR-INFRARED WINDOW INTO THE BODY AND THE EARLY DEVELOPMENT OF NEAR-INFRARED SPECTROSCOPY. *J Biomed Opt*, 4(4), 392–396. Retrieved from <https://www.spiedigitallibrary.org/terms-of-use>
- Li, H., Huang, G., Lin, Q., Zhao, J., Fu, Q., Li, L., ... Huang, D. (2020). EEG changes in time and time-frequency domain during movement preparation and execution in stroke patients. *Frontiers in Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00827>
- Muhrer, J. C. (2014). The importance of the history and physical in diagnosis. *Nurse Pract*, 39(4), 30–35. Retrieved from www.tnpj.com
- Munneke, G. J., Nap, T. S., Schippers, E. E., & Cohen, M. X. (2015). A statistical comparison of EEG time- and time-frequency domain representations of error processing. *Brain Research*, 1618, 222–230. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2015.05.030>
- Neary, J. P., Dudé, C. M., Singh, J., Len, T. K., & Bhambhani, Y. N. (2020). Pre-frontal Cortex Oxygenation Changes During Aerobic Exercise in Elite Athletes Experiencing Sport-Related Concussion. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00035>
- Peterson, M. C., Virginia, W., Holbrook, J. H., de Von Hales, ;, Smith, ; N Lee, & Staker, L. v. (1992). Contributions of the History, Physical Examination, and Laboratory Investigation in Making Medical Diagnoses. *West J Med*, 156(2), 163–165.
- Pinti, P., Scholkmann, F., Hamilton, A., Burgess, P., & Tachtsidis, I. (2019). Current Status and Issues Regarding Pre-processing of fNIRS Neuroimaging Data: An Investigation of Diverse Signal Filtering Methods Within a General Linear Model Framework. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00505>
- Piper, S. K., Krueger, A., Koch, S. P., Mehnert, J., Habermehl, C., Steinbrink, J., ... Schmitz, C. H. (2014). A wearable multi-channel fNIRS system for brain imaging in freely moving subjects. *NeuroImage*, 85, 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.06.062>
- Rizki, E. E., Uga, M., Dan, I., Dan, H., Tsuzuki, D., Yokota, H., ... Watanabe, E. (2015). Determination of epileptic focus side in mesial temporal lobe epilepsy using long-term noninvasive fNIRS/EEG monitoring for presurgical evaluation. *Neurophotonics*, 2(2), 025003. <https://doi.org/10.1117/1.nph.2.2.025003>
- Roberts, R. J., Franzen, K., & Varney, N. R. (2001). Theta Bursts, Closed Head Injury, and Partial Seizure-Like Symptoms: A Retrospective Study. *Appl Neuropsychol*, 8(3), 140–147.

- Rosenow, F., Klein, K. M., & Hamer, H. M. (2015, April 1). Non-invasive EEG evaluation in epilepsy diagnosis. *Expert Review of Neurotherapeutics*, Vol. 15, pp. 425–444. Expert Reviews Ltd. <https://doi.org/10.1586/14737175.2015.1025382>
- Scholkmann, F., Kleiser, S., Metz, A. J., Zimmermann, R., Mata Pavia, J., Wolf, U., & Wolf, M. (2014, January 15). A review on continuous wave functional near-infrared spectroscopy and imaging instrumentation and methodology. *NeuroImage*, Vol. 85, pp. 6–27. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.05.004>
- Sklerov, M., Dayan, E., & Browner, N. (2019). Functional neuroimaging of the central autonomic network: recent developments and clinical implications. *Clinical Autonomic Research*, 29, 555–566.
- Soltanlou, M., Sitnikova, M. A., Nuerk, H. C., & Dresler, T. (2018, April 3). Applications of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) in studying cognitive development: The case of mathematics and language. *Frontiers in Psychology*, Vol. 9. Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00277>
- Surmeli, T., Eralp, E., Mustafazade, I., Kos, H., Özer, G. E., & Surmeli, O. H. (2016). Quantitative EEG Neurometric Analysis-Guided Neurofeedback Treatment in Dementia: 20 Cases. How Neurometric Analysis Is Important for the Treatment of Dementia and as a Biomarker? *Clinical EEG and Neuroscience*, 47(2), 118–133. <https://doi.org/10.1177/1550059415590750>
- Tavakoli, S., Peitz, G., Ares, W., Hafeez, S., & Grandhi, R. (2017). Complications of invasive intracranial pressure monitoring devices in neurocritical care. *Neurosurgical Focus*, 43(5). <https://doi.org/10.3171/2017.8.FOCUS17450>
- Villringer, A., & Dirnagl, U. (1995). Coupling of brain activity and cerebral blood flow: basis of functional neuroimaging. *Cerebrovasc Brain Metab Rev*, 7(3), 240–276.
- Watts, M. E., Pocock, R., & Claudianos, C. (2018). Brain Energy and Oxygen Metabolism: Emerging Role in Normal Function and Disease. *Front Mol Neurosci*, 11.
- Weiss Lucas, C., Nettekoven, C., Neuschmelting, V., Oros-Peusquens, A. M., Stoffels, G., Viswanathan, S., ... Grefkes, C. (2020). Invasive versus non-invasive mapping of the motor cortex. *Human Brain Mapping*, 41(14), 3970–3983. <https://doi.org/10.1002/hbm.25101>
- Wyler, A. R., Lockard, J. S., Ward, A. A., & Finch, C. A. (1976). CONDITIONED EEG DESYNCHRONIZATION AND SEIZURE OCCURRENCE IN PATIENTS *. In *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* (Vol. 41).
- Zamrini, E., Maestu, F., Pekkonen, E., Funke, M., Makela, J., Riley, M., ... Becker, J. T. (2011). Magnetoencephalography as a putative biomarker for Alzheimer's disease. *International Journal of Alzheimer's Disease*. <https://doi.org/10.4061/2011/280289>