

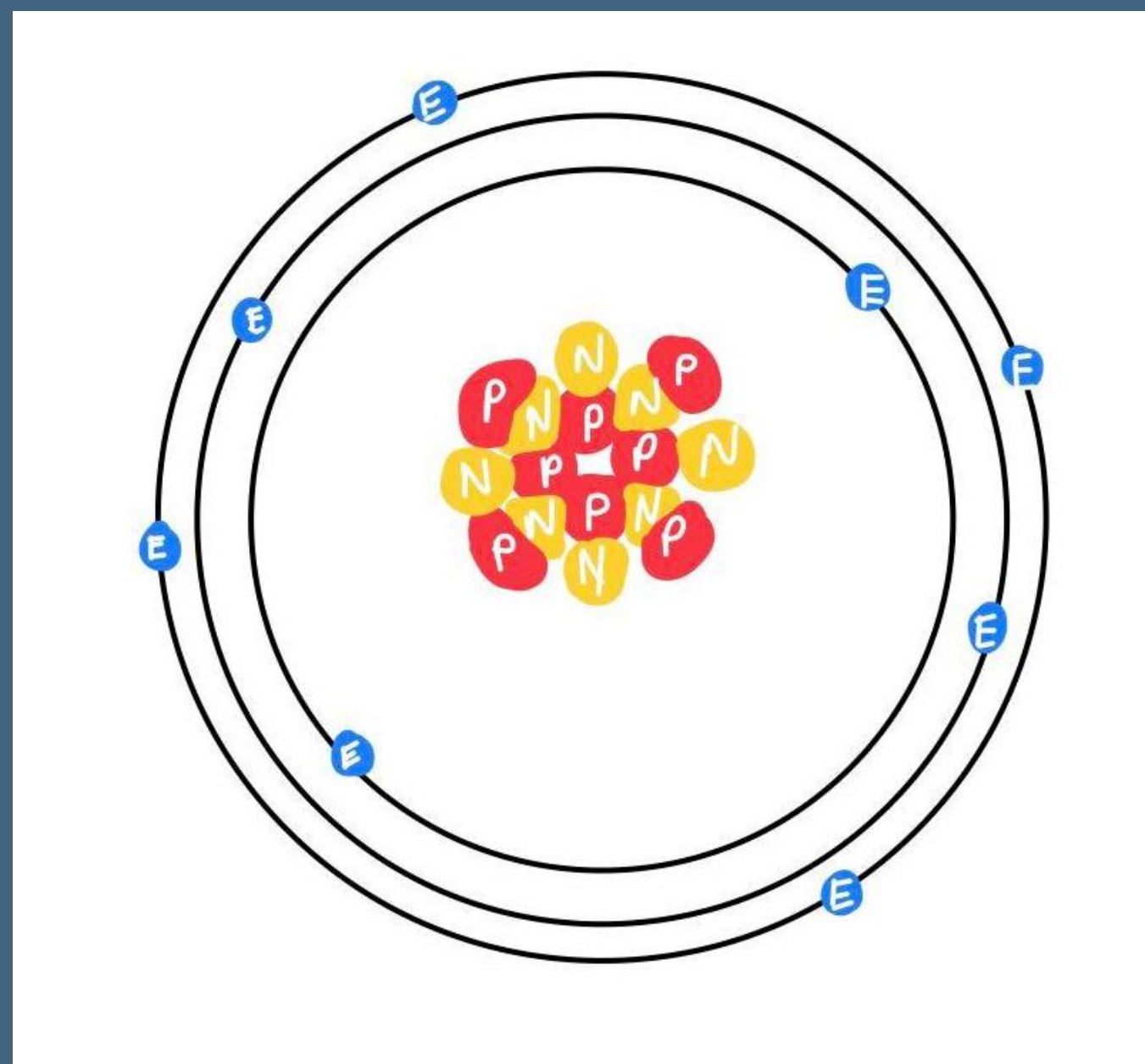


Funkcjonalny rezonans magnetyczny, obrazowanie mózgu

Koło Naukowe Biochemików URCELL, Kolegium Nauk Medycznych,
Uniwersytet Rzeszowski

Łukasz Karaś, Karolina Miś, Magdalena Paśko, Katarzyna Piekarcz, Oliwia
Wójcik, Dorota Bartusik-Aebisher

Funkcjonalne obrazowanie rezonansem magnetycznym (fMRI) jest nieinwazyjnym sposobem pomiaru aktywności neuronalnej w mózgu. Sygnały przekazywane wynikają ze zmian w lokalnej hemodynamice, co jest efektem aktywności neuronalnej. Im większa praca wykonywana przez neurony mózgu np. podczas nauki, rozmowy, w procesie zapamiętywania tym większe zapotrzebowanie na energię. Czynności angażujące dany obszar mózgu wysyłają sygnały, których najistotniejszym źródłem są atomy tlenu we krwi przepływającej przez mózg. Założono, że sygnał fMRI jest proporcjonalny do lokalnej średniej aktywności neuronalnej, ale na związek między nimi może wpływać wiele czynników. Samo badanie wykonywane jest w komorze, w której wytworzone jest stałe pole magnetyczne o dużym natężeniu, a fale radiowe pobudzają jądra atomowe w tkankach ciała. Wynik badania uzyskuje się przez odczytaną i przeanalizowaną przez komputer energię emitowaną przez pobudzone jądra. Warto zwrócić uwagę, że wykorzystywane metody nie narażają zdrowia pacjenta, a pozwala na zdiagnozowanie i obserwowanie chorób neurologicznych, psychicznych, laryngologicznych. Podobny mechanizm działania wykazuje badanie MRI, jednak kluczową różnicą podczas badania jest powstawanie obrazu statycznego, który dostarcza informacji o cechach struktur anatomicznych danego obszaru ciała. fMRI jest wykorzystywany do oceny aktywności i metabolizmu mózgu, a wynik badania jest dynamiczny.



Rys. Model budowy atomu tlenu.

W 1890 roku Charles S. Roy i Charles S. Sherrington opublikowali artykuł w magazynie Journal of Physiology (Londyn). Praca ta opisuje serię eksperymentów, dzięki którym możliwe było potwierdzenie związku pomiędzy metabolizmem energii a przepływem krwi w mózgu. W eksperymentach tych uczestniczyły znieczulone psy. Na powierzchni ich mózgow zostały umieszczone urządzenia monitorujące, które wykrywało zmiany w objętości krwi. Doświadczenie to wykazało, że dopływ krwi do poszczególnych części mózgu zmienia się w zależności od aktywności danego obszaru oraz że w mózgu znajduje się substancja, która gdy przedostanie się do naczyń mózgowych powoduje ich aktywne rozszerzenie. Potwierdzenie tezy, że przepływ krwi w mózgu jest regulowany miejscowo przez sam mózg miało miejsce w roku 1948. Seymour S. Kety i Carl F. Schmidt prowadzili eksperymenty dotyczące przepływu krwi w mózgu u ludzi, którym był podawany podtlenek azotu. Ma on zdolność szybkiej dyfuzji przez barierę krew-mózg oraz posiada podobną rozpuszczalność we krwi i mózgu. Dzięki tym odkryciom miała szansę rozwinąć się dziedzina zwana funkcjonalnym obrazowaniem mózgu.

Mózg ma wysokie zapotrzebowanie energetyczne oraz metaboliczne, więc potrzebuje ciągłego przepływu krwi. Ułatwia to sprzężenie pomiędzy aktywnością neuronów, przepływem jak i metabolizmem. Obszary mające podwyższony poziom aktywności metabolicznej, mają zarówno zwiększony przepływ mózgowy w danej chwili. Substancje i mechanizmy tj. NO, jony potasowe, kanały jonowe, astrocyty regulują sprzężenie metabolizmu z CBF. Regulacja ta zachodzi na dwa różne sposoby: 1. Krótkotrwałe, dynamiczne sprzężenie, w którym pośredniczą lokalne czynniki wazoaktywne, zapewnia regulację z sekundy na sekundę. 2. Długotrwałe sprzężenie statyczne najwyraźniej pośredniczone przez gęstość naczyń włosowatych i rozwinięte w odpowiedzi na lokalną aktywność funkcjonalną i metaboliczną. Ta zależność ma bardzo duże znaczenie dla homeostazy mózgu. Usuwaniem odpadów i substancji zaburzających tą korelację wzdłuż kanałów przynaczyniowych zajmuje się układ limfatyczny.

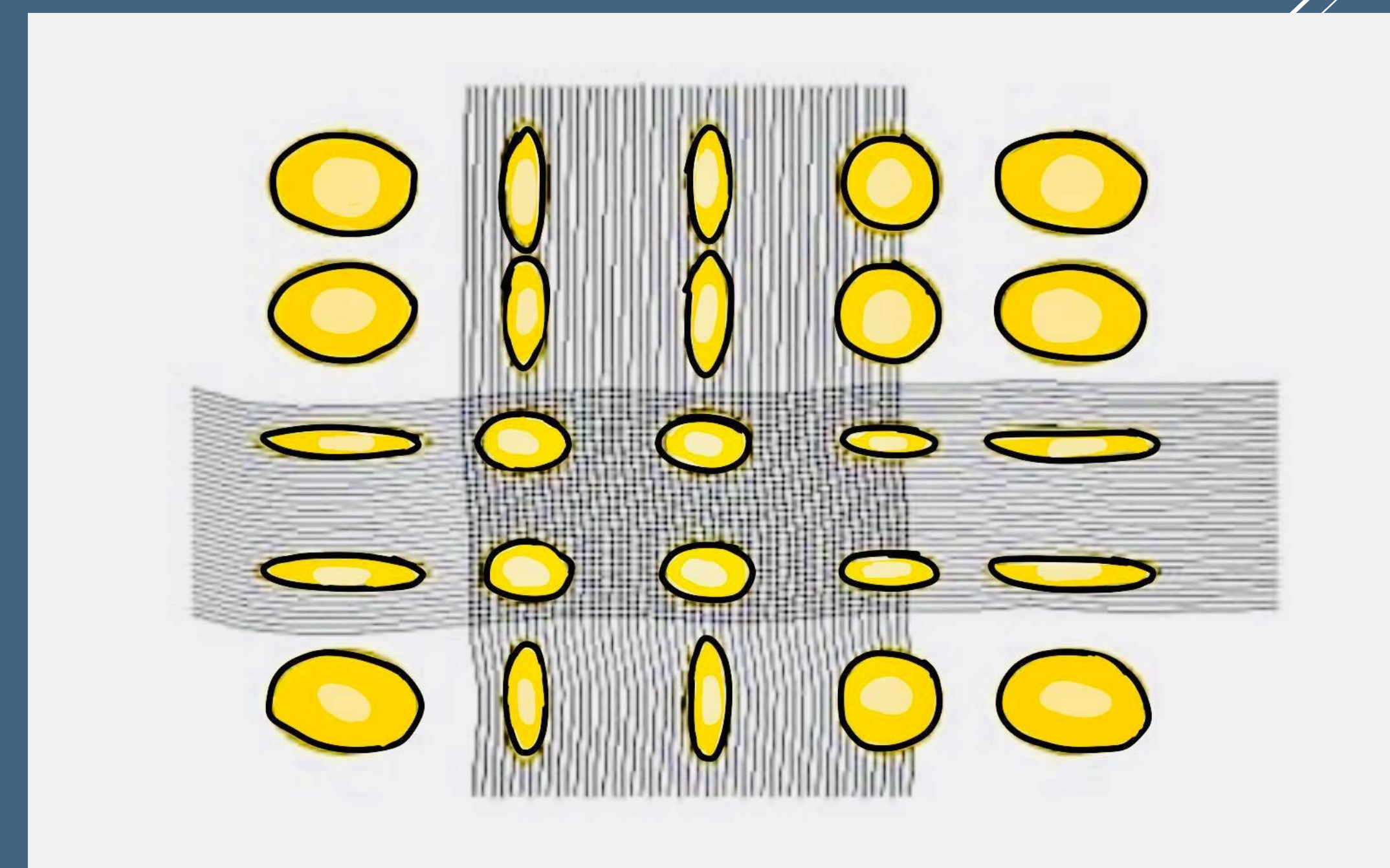
Ponad 100 lat temu zauważono zależność między intensywnością metabolizmu tkanek a wielkością przepływu krwi. Natomiast, około 30 lat temu, Seiji Ogawa, japoński fizyk przeprowadził eksperymenty na szczurach z zastosowaniem nowej metody. Dwa lata później, Kenneth Kwong, zastosował technikę BOLD do zbadania mózgu człowieka, co pozwoliło dokładniej poznać funkcjonowanie układu nerwowego.

Rozwój fMRI jest najnowszym spośród innowacji obejmujących np. pozytonową tomografię emisyjną (PET) oraz spektroskopię w bliskiej podczerwieni (NIRS).

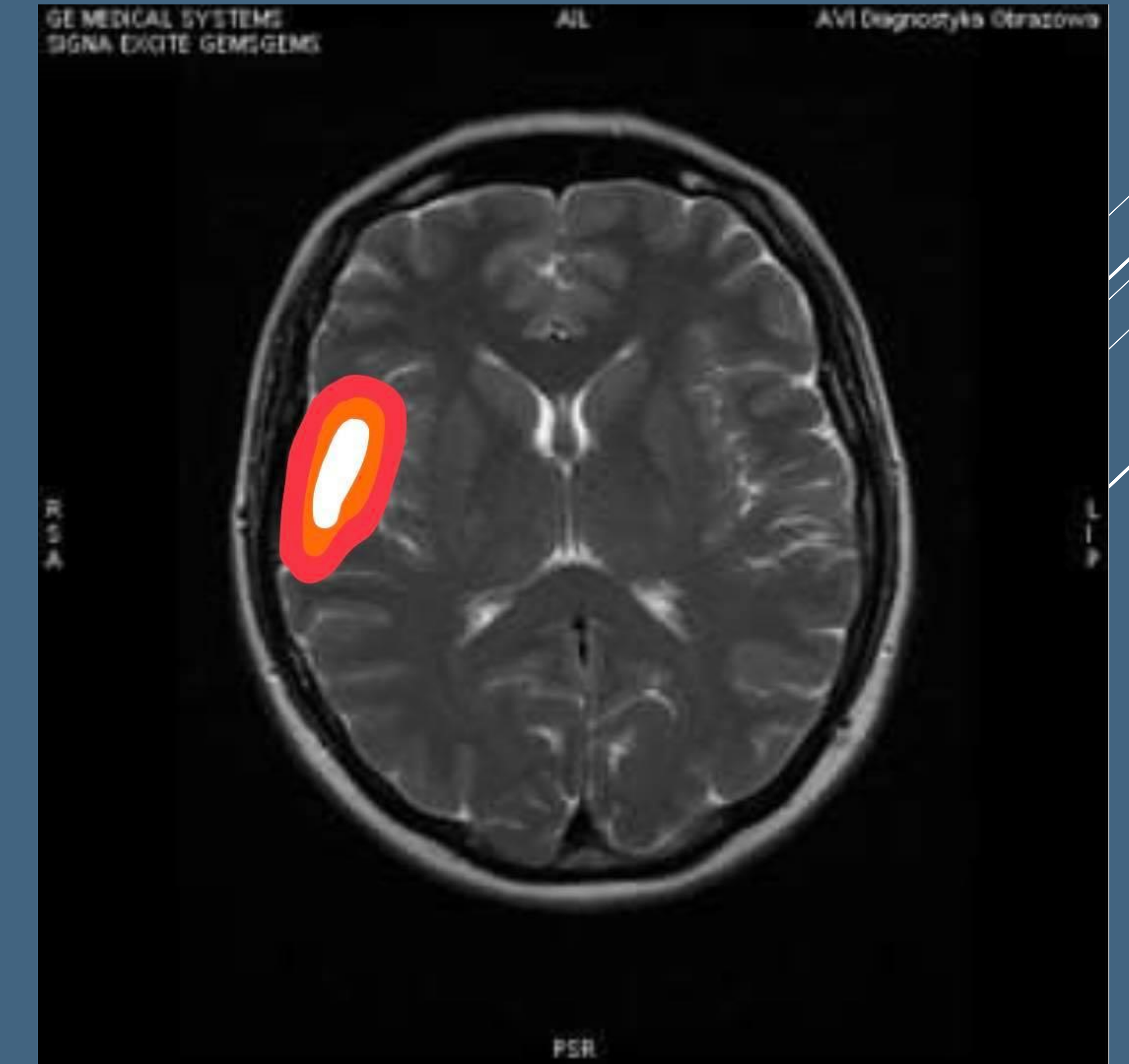
PET jest to technika obrazowania, w której wychwytuje się promieniowanie powstające podczas anihilacji pozytonów, zwanych antyelektronami. Substancja promieniotwórcza zawierająca izotopy promieniotwórcze, podlega rozpadowi beta plus, stanowi zasób pozytonów w reakcji.

NIRS jest niezwykle istotna podczas analizy ilościowej i jakościowej. Cechuje się nieniszczącą oraz nieinwazyjną analizą, oraz brakiem konieczności przygotowania próbki przed analizą. Metoda ta ma wysoką czułość, oraz stosunkowo niski koszt. Skutkuje ona uzyskaniem kompleksowego obrazu badanego materiału.

Obie powyższe metody używają wykorzystują przepływu krwi i metabolizm tlenu w celu wnioskowania aktywność mózgu.



Rys. Tensor dyfuzji. Funkcjonalne mapowanie mózgu z obrazowaniem metodą rezonansu magnetycznego.



Podstawą diagnostyki wykonywanej przez fMRI jest odróżnianie hemoglobiny natlenowanej od odtlenowanej w trakcie rzeczywistym. W praktyce chodzi tutaj o to, że podczas intensywnej pracy danego fragmentu mózgu dochodzi do zmiany przepływów krwi w tym rejonie i zwiększenie ilości hemoglobiny natlenowanej, która wykazuje właściwości diamagnetyczne co jest rejestrowane przez urządzenie. Hemoglobina odtlenowana ma właściwości paramagnetyczne przez co urządzenie może ją odróżnić od natlenowanej a taka forma obrazowania zależna od poziomu natlenienia krwi nosi nazwę BOLD.

Bibliografia:

- 1) Functional MRI, Dr Tim Lujckx and Dr Frank Gaillard, radiopaedia.org; Advanced MR Techniques in Brain Tumor Imaging, Sasan Karimi, MD, medscape.com; fMRI Brain, radiologyinfo.org
- 2) B. Małkowski, J. Siekiera, Z. Wołski. Nowe możliwości diagnostyczne raka stercza i raka nerki za pomocą pozytonowej emisyjnej tomografii i komputerowej tomografii (PET/CT). „Przegl. Urolog.”
- 3) Wrośz, P., Dopierała, A., & Mazerski, J. (2011). Spektroskopia Bliskiej Podczerwieni NIR. VII Ogólnopolskie Studenckie Seminarium Naukowe- Technologiczne : Biomedtech : Badania i Innowacje : Zeszyty Naukowe, Sopot, 9-13 Maja 2011, 92-98.
- 4) Friedland, R., and C. Iadecola. "Roy and Sherrington (1890)." Semantic Scholar. "Undefined", 1 Jan. 1991. [https://www.semanticscholar.org/paper/Roy-and-Sherrington-\(1890\)-Friedland-Iadecola/932632ce25ad298674466c92bb51192a7ee9e993](https://www.semanticscholar.org/paper/Roy-and-Sherrington-(1890)-Friedland-Iadecola/932632ce25ad298674466c92bb51192a7ee9e993).
- 5) https://www.researchgate.net/publication/325179488_Evaluating_the_methods_used_for_measuring_cerebral_blood_flow_at_rest_and_during_exercise_in_humans
- 6) [https://www.semanticscholar.org/paper/Roy-and-Sherrington-\(1890\)-Friedland-Iadecola/932632ce25ad298674466c92bb51192a7ee9e993/figure/1](https://www.semanticscholar.org/paper/Roy-and-Sherrington-(1890)-Friedland-Iadecola/932632ce25ad298674466c92bb51192a7ee9e993/figure/1)
- 7) <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15489949/>
- 8) <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32593385/>
- 9) <https://www.nature.com/articles/35084005>
- 10) <https://naukawpolsce.pap.pl/aktualnosci/news%2C26406%2Cfunkcjonalny-rezonans-magnetyczny-przelomem-w-badaniach-mozgu.html>
- 11) <https://www.netinbag.com/pl/health/what-are-the-differences-between-an-mri-and-fmri.html>
- 12) <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1944930/>
- 13) https://ruj.uj.edu.pl/xmlui/bitstream/handle/item/255317/czernicki_fizjologia_mozgowego_przeplywu_krwii_2007.pdf?sequence=1&isAlloWed=y
- 14) <https://www.wielkiepytania.pl/article/obrazowanie-rezonansem-magnetycznym-mri-fmri/>
- 15) <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27374823/>
- 16) https://www.ur.edu.pl/storage/files/core_files/2020/10/19/d482efbeadc2781f5a4c6b7b6bf44aaa/logo%20UR.jpg