

Олена МОНЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.,  
Єгор КОДІЙ, студент  
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна, e-mail: monchenko\_olena@ukr.net

## РОЗРАХУНОК ВІЗУАЛЬНО ПОСИЛЕНОГО ВЕСТИБУЛО-ОЧНОГО РЕФЛЕКСУ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТИМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

**Анотація.** В роботі розроблено методи розрахунку посиленого вестибулярно-окулярного рефлексу (VVOR): метод Фур'є, метод «Площа під кривою» та метод «Розсіювання очей проти голови». Проведено аналіз розглянутих методів та моделювання. Отримано три обчислювальних методи для вимірювання посилення VVOR. Значення посилення VVOR об'єктивно характеризують зміну VVOR, що спостерігається у пацієнтів, а також відрізняють здорових суб'єктів від пацієнтів з деякими вестибулярними розладами.

**Ключові слова:** посилений VVOR, Фур'є, Саккади, Вестибуло-окулярний рефлекс

### Актуальність дослідження

Візуально посилений вестибуло-окулярний рефлекс (VVOR) – це добре відомий приліжковий клінічний тест для оцінки зорово-вестибулярної взаємодії, який клінічно застосовується у пацієнтів з неврологічними та вестибулярними дисфункціями. Завдяки нещодавно розробленим діагностичним технологіям зросла можливість виконувати легке та об'єктивне вимірювання VVOR, але бракує обчислювальних методів, призначених для отримання об'єктивного вимірювання VVOR. Розробити методики кількісної оцінки посилення вестибуло-окулярного рефлексу (VVOR) у пацієнтів з втратами вестибулярної функції, що є математично придатним, враховуючи природу тесту, і визначити надійність методів шляхом порівняння результатів.

### Мета дослідження

Розробити метод оцінки VVOR для отримання значення посилення, яке порівнює швидкість голови та очей, і перевірити цей метод на пацієнтах і здорових суб'єктах.

### Основні матеріали досліджень

Перший етап включав написання сценарію MATLAB/Octave для поетапного читання CSV-файлу. Цей сценарій витягував позначку часу, швидкість ока та швидкість голови для останнього тесту VVOR та зберігав їх у файлі. Для швидкого аналізу RAW-даних було побудовано графік результатів (рис. 1).

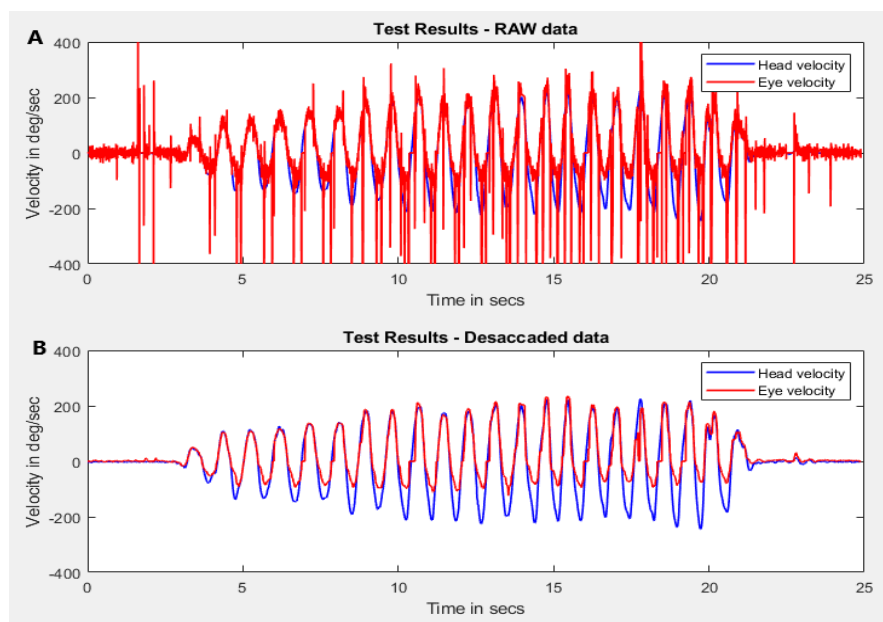


Рис. 1. Візуально вдосконалені графіки VOR (VVOR) у форматі RAW(A) і десакадованих (B)

Під час чисельного аналізу реакції голови та очей у тесті VVOR виникали дві основні проблеми, які могли вплинути на обчислення при використанні графічного або швидкого перетворення Фур'є. Перша проблема виникала через те, що рух, викликаний екзаменатором, не був стільки періодичним, як рух, що досягається за допомогою систем обертового крісла. Цю проблему вирішено за допомогою онлайн-спостережень та тестових випробувань перед остаточною оцінкою та реєстрацією. Експерти, що брали участь у дослідженні, також мали значний досвід у проведенні тестування vHIT і VVOR.

Друга проблема полягала в частому порушенні плавної реакції очей через появу швидкої фази ністагму (рис. 1). Щоб вирішити цю проблему, реакцію ока оброблено та “десакадовано” за допомогою одновимірного медіанного фільтра з використанням функції обробки сигналу “medfilt1” у MATLAB/Octave з параметром довжини вікна 30. Функцію медіанного фільтра використано згідно з визначенням Пратта.

$$y(t) = \tilde{x} \left( i - \frac{n}{2} : i + \left( \frac{n}{2} - 1 \right) \right)$$

де  $y$  – вихідний вектор;

$x$  – вхідний вектор;

$i$  – поточна позиція функції;

$n$  – параметр довжини вікна.

Занадто низькі значення зберігають більшість саккад на вихідному графіку, а надто високі значення вирівнюють базову лінію реакції ока. Потім було нанесено графік обробленого VVOR із десакадованими даними (рис. 1, В). Потім швидке перетворення Фур'є було застосовано як до RAW, так і до десакадованих даних VVOR. Швидке перетворення Фур'є є корисним інструментом для графічної оцінки періодичності рухів голови під час тесту VVOR, а також для оцінки основної частоти руху голови (рис. 2).

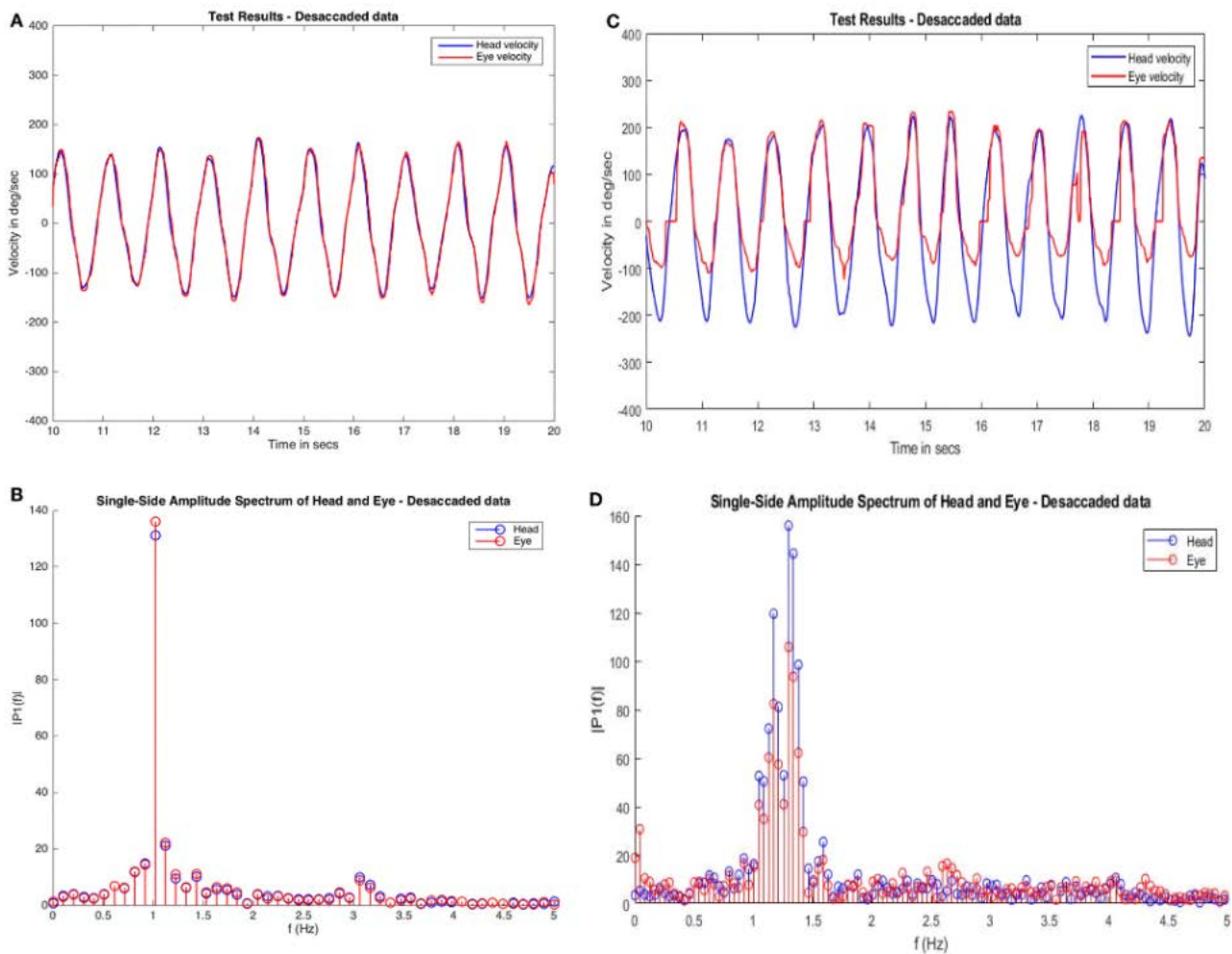


Рис. 2. Швидке перетворення Фур'є для результатів VOR (VVOR)

Оцінка для двох суб'єктів за допомогою десакадного графіка та швидкого перетворення Фур'є. Панелі А, В – графіки здорового суб'єкта, а С, D – графіки пацієнта з гіпофункцією лівого вестибулярного апарату

Для досягнення цілей дослідження розроблено два методи на основі десакадованих даних VVOR: (1) обчислення площі під кривою (AUC) і (2) діаграми розсіювання очей і голови (SCP) та за методом Фур'є (FR) (3). Метод AUC використовував функцію “trapz” в MATLAB/Octave для розділення даних на позитивні (G AUCp) та негативні (G AUCn) прирости VVOR під час зміщення голови вправо та вліво відповідно.

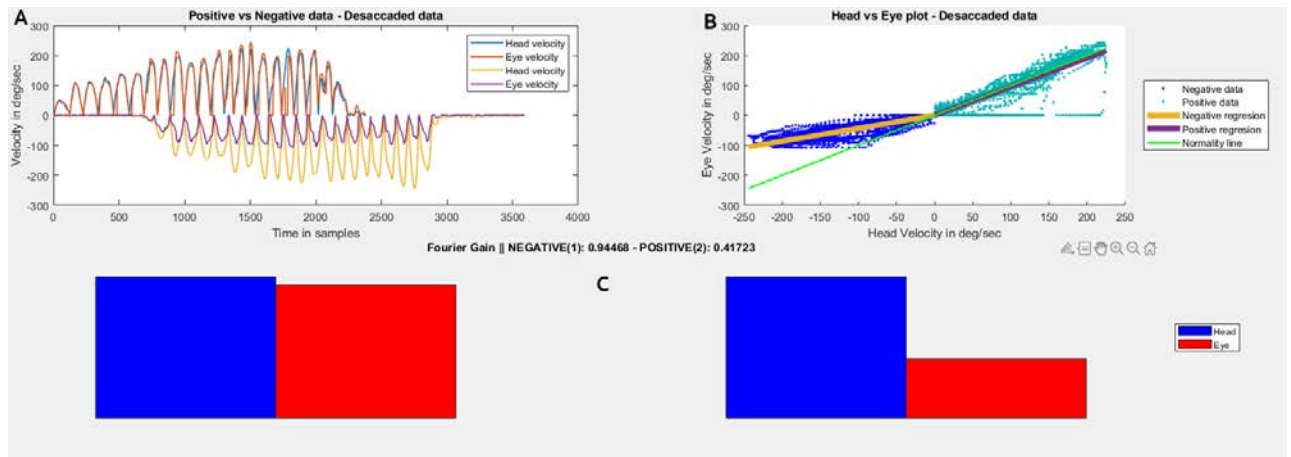


Рис 3. Методи розрахунку посилення VOR з візуальним покращенням: А – площа під кривою; В –діаграма розсіювання очей проти голови; С – посилення від перетворення Фур'є

Метод SCP використовує аналіз десакадованих даних для визначення позитивних і негативних рухів голови вправо і вліво. Використовується лінійна регресія з функцією “mldivide” для обробки швидкостей голови та очей. Дані RAW VVOR ока використовуються для визначення саккад очей за допомогою функції “findpeaks” в MATLAB/Octave.

Метод FR Посилення від перетворення Фур'є в кожному напрямку руху голови обчислюється за допомогою співвідношення між потужністю очей і голови на частоті з найвищою потужністю руху голови (рис. 3С). Використовуючи цей алгоритм, дані VVOR були автоматично обчислені для отримання двох значень підсилення в напрямку (голова вліво та вправо) за допомогою математичне перетворення Фур'є.

### Висновок

Було успішно розроблено три обчислювальних методи для вимірювання посилення VVOR. Значення посилення VVOR об'єктивно характеризують зміну VVOR, що спостерігається у пацієнтів, а також відрізняють здорових суб'єктів від пацієнтів з деякими вестибулярними розладами.

### Література

1. “Mathematical Methods for Measuring the Visually Enhanced Vestibulo-Ocular Reflex and Preliminary Results from Healthy Subjects and Patient GroupsХорхе” Рей-Мартінес, Анхель Батуекас-Калетріо, Еусебі Матіньо, Габріель Тринідад-Руїс, Ксаб'єр Алтуна, Ніколас Перес-Фернандес: *Frontiers in Neurology*.
2. Ян С. Куртойс, Хеміш Г. Макдугал, Лі А. МакГарві, Конрад П. Вебер, Давид Шмулевич, Леонардо Манзарі та ін. Імпульсний тест відеоголовки (vНІТ). 2-е вид. У: Якобсон Г., Шепард Н., редактори. Оцінка та управління функцією балансу. Сан-Дієго, Каліфорнія, США: Plural Publishing (2016). стор. 391–430.