

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

ННЦ «Інститут біології та медицини»

Кафедра фізіології людини і тварин

Завідувач кафедри проф. Микола МАКАРЧУК

Протокол №\_\_\_\_ засідання кафедри

від “\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ДИНАМІКА ЗМІН КОГНІТИВНИХ ПОТЕНЦІАЛІВ ПІД ЧАС  
ОБРОБКИ ЕМОЦІЙНИХ ВИРАЗІВ ОБЛИЧ ЗА РІЗНОГО ЧАСУ  
ДЕМОНСТРАЦІЇ**

Кваліфікаційна робота магістра  
денної форми навчання  
за спеціальністю 091 «Біологія»  
Субіна Ярослава Володимировича

Науковий керівник від кафедри  
д.б.н, доц. Зима І. Г.

Робота виконана на базі науково-дослідної частини ННЦ «Інститут біології та медицини» під керівництвом д.б.н., с.н.с Зими Ігоря Григоровича

Оцінка захисту роботи

---

**Київ – 2023 р.**

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ППП – потенціали, пов'язані з подіями;

EPN – early posterior negativity (рання задня негативність);

FFA – fusiform face area;

LPP – late positive potential (пізній позитивний потенціал);

OFA – occipital face area;

pSTS – posterior superior temporal sulcus;

rSx – right somatosensory cortex (права соматосенсорна кора);

VPP – vertex positive potential (позитивний потенціал вертексу).

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>РОЗДІЛ 1. Огляд літератури</b> .....	6
1.1. Емоції та їх виміри .....	6
1.2. Теорії Емоцій .....	8
1.3. Нейроанатомія процесів обробки емоційних виразів облич .....	11
1.4. Потенціали, пов'язані з подіями .....	16
1.5. ППП при сприйнятті та обробці емоційних облич .....	17
<b>РОЗДІЛ 2. Матеріали та методи досліджень</b> .....	22
2.1 Методика реєстрація ЕЕГ .....	22
2.2 Схема експерименту .....	24
<b>РОЗДІЛ 3. Результати досліджень та обговорення</b> .....	27
3.1 Порівняння реакцій на емоційні вирази обличчя при демонстрації стимулів 500 мс та 100 мс.....	27
3.2. Порівняння реакцій на щасливі та налякані обличчя при демонстрації стимулів 500 мс .....	44
3.3 Порівняння реакцій на щасливі та налякані обличчя при демонстрації стимулів 100 мс .....	46
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	50
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	51

## ВСТУП

Соціальні взаємодії та взаємозв'язки з іншими людьми є невід'ємною частиною нашого життя. Для того, щоб ці взаємодії відбувалися коректно та безперешкодно, дуже важливим є розуміння відчуттів та переживань партнерів по спілкуванню.

Одним із найзначніших елементів для нормального функціонування цих складних соціальних взаємодій є обличчя, яке може містити досить велику кількість інформації щодо конкретного індивіда. За відносно невеликий проміжок часу можна зробити численні висновки про: вік, ідентичність, расову чи етнічну приналежність, стать, особистісні риси, привабливість, фізичне здоров'я та навіть соціальний статус (Jack, 2015). Також розуміння виразів обличчя має вирішальне значення для визначення психоемоційних станів та намірів інших людей. Крім того, воно є важливими джерелом інформації про навколишнє середовище (наприклад, наляканий вираз обличчя попереджає інших про потенційну загрозу або щасливий вираз може сигналізувати про безпеку).

Враховуючи це, питання вивчення аспектів сприйняття, аналізу та обробки емоційних виразів обличчя залишається доволі актуальним. Оскільки перебіг цих процесів зазвичай відбувається досить динамічно та швидко, методика потенціалів, пов'язаних з подіями є одним із найкращих варіантів для дослідження даних процесів.

Отже, **об'єктом** даної роботи є дослідження біоелектричних реакцій головного мозку людини, відображених в викликаних когнітивних потенціалах, пов'язаних з подіями при демонстрації подразників різної модальності. **Предмет** цієї роботи – процеси обробки щасливих та наляканих виразів обличчя при стандартному часі їх демонстрації 500 мс та при скороченні часу до 100 мс.

**Метою** даної роботи було вивчення впливу фактору часу на стан процесу обробки емоційних виразів облич, відображений в структурі та показниках викликаних когнітивних потенціалів, пов'язаних з подіями.

До задач даної роботи можна віднести дослідження викликаних когнітивних потенціалів, пов'язаних з подіями в реакціях на стимули нейтральної, позитивної та негативної модальностей, а також обробку, аналіз і порівняння отриманих даних.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

#### 1.1. Емоції та їх виміри

Емоції, як засіб передачі інформації, дозволяє отримувати сигнали, наприклад, про потенційну небезпеку чи винагороду, що відіграє надзвичайно важливу роль у соціальних взаємодіях та питаннях виживання людей. Їх можна розглядати (Ding, 2017) за допомогою двох вимірів – валентності (valence) та рівня збудження (arousal).

Валентність розподіляється на відчуття “приємно” та “неприємно” і є основним виміром для пояснення мінливості в суб’єктивних судженнях щодо різноманітних типів стимулів, включаючи обличчя, зображення складних сцен, відеокліпи, слова, аудіоматеріали (Shinkareva, 2020). Загалом в емпіричних дослідженнях валентність розподіляється на три рівні: нейтральний, позитивний та негативний (Weber, 2020).

Щодо феномену валентності існує декілька гіпотез. Першою запропонованою була гіпотеза біполярності, згідно якою позитивність та негативність представляють дві протилежні точки в одному вимірі (Carroll, 1999). Дещо пізніше була розроблена бівалентна гіпотеза, згідно якою негативність та позитивність можуть бути незалежними вимірами (Norris, 2010). Перша гіпотеза є загалом описовою та обмежувалась звітами щодо свідомої оцінки власного досвіду та сприйняття. Друга ж пропонувала окремі фізичні системи для генерації та репрезентації двох вимірів валентності, базуючись не тільки на самозвітності, а й біологічних даних (наприклад, різниці в активності нейромедіаторів).

Альтернативно до двох попередніх, гіпотеза афективного робочого простору вказує на те, що представлення позитивності або негативності не відбувається окремо в специфічних для цього ділянках, а виникає загалом як

“стан мозку”. Таким чином, в межах визначених зон відбувається загальне представлення валентності (Barrett, 2009). Зокрема, нещодавній метааналіз даних нейровізуалізації узгоджується з гіпотезою щодо існування загальної мережі. Відповідно до нього, основу системи складають: передня острівцева частка, мигдалина, вентральне смугасте тіло, таламус, частини передньої поясної кори, вентромедіальна префронтальна та потилично-скронева кортикальні зони (Lindquist, 2016).

Вимір збудження позначає суб'єктивний стан відчуття активації або дезактивації (тобто, вказує на інтенсивність внутрішньої емоційної реакції) (Ding, 2017). Так, за одним із визначень цей термін відображає глобальне відчуття динамізму або млявості, яке включає розумову активність та фізичну готовність до дій (Deckert, 2020). Також рівень збудження є важливим аспектом в обробці емоцій, оскільки, разом із валентністю, вони є відносно універсальними вимірами серед різних культурних контекстів (Russell, 1994).

Щодо взаємозв'язку валентності та збудження існують три основні моделі (Haj-Ali, 2020). Одна модель розглядає їх як два окремі явища, тоді як дві інші описують збудження як інтенсивність біполярної валентності або комбінацію двох однополярних вимірів приємного та неприємного відповідно. Проте в контексті експериментальних умов досить важко відокремлювати ці два явища, оскільки більшість стимулів, що використовуються для індукції негативності чи позитивності, також мають вплив на рівні збудження (Kuppens, 2013).

Широко поширеною є думка, запропонована П. Екманом (Ekman, 2011) та колегами, про те, що шість базових емоцій (щастя, здивування, страх, гнів, відраза, сум), представлені у виразах облич, є загальноприйнятим та зрозумілими серед абсолютно усіх культур світу. Крім того, виникло припущення, що оскільки люди в усьому світі можуть автоматично розпізнавати ці види станів (наприклад, нахмурений погляд розпізнається як стан гніву), вирази обличчя виходять за межі концепцій емоцій і мови, яку ми використовуємо для їх позначення. Отже здатність до розпізнавання емоцій є

долінгвістичною, а слова є просто засобом для передачі вже сформованих уявлень (Izard, 1994).

До того ж, окрім шести основних емоційних станів, можна виділити інший клас «соціальних» емоцій (наприклад, збентеження, заздрість, провина, гордість, сором). Ці стани розвиваються дещо пізніше, ніж описані універсальні емоції та більше залежать від соціального контексту (Adolphs, 2003).

Крім того, шість основних емоцій можна помістити в модель афекту Рассела (Russel) з відповідними значеннями валентності та збудження (Russel, 1980). Проте стали з'являтися докази, які суперечать факту універсальності і вказують на залежність процесів їх сприйняття від культурного та концептуального контекстів (Gendron, 2014).

## 1.2. Теорії Емоцій

На сьогоднішній день існує досить велика кількість теорій для пояснення сприйняття та переживання емоцій, перші з яких виникли ще в другій половині позаминулого століття. Далі буде розглянуто декілька найбільш відомих та впливових класичних та сучасних теорій.

В. Джеймс (James) і К. Ланге (Lange) незалежно один від одного запропонували одну з перших великих теорій, пов'язавши фізіологічні зміни з (суб'єктивними) емоційними переживаннями. Попри деякі розбіжності, ці два підходи є досить подібними, через що і отримали назву теорія Джеймса-Ланге. Згідно з нею поява подразника спричиняє певні фізіологічні зміни в тілі, після чого з'являється відчуття емоції. Власне сигнали від м'язів та внутрішніх органів необхідні для повного переживання емоції, а їх зниження призведе до зменшення відчуття. Також було припущено, що різні емоції мають унікальний набір фізіологічних реакцій (Shiota, 2018).

Дещо згодом альтернативно виникло пояснення, що на сьогодні відомо як таламічна теорія Кеннона-Барда (Cannon-Bard). Було припущено, що автономне збудження (наприклад, підготовка організму до загрозової ситуації) та когнітивна інтерпретація емоційної події відбуваються одночасно й незалежно один від одного. До того ж, згідно з теорією, в таламусі розділяються два шляхи обробки емоцій: сенсорна інформація передається в кору головного мозку, тоді як низхідні сигнали надсилаються в спинний мозок, щоб стимулювати вісцеральні зміни. Крім того, було припущено, що всі емоційні події, які впливають на симпатичну нервову систему, призводять до загального недискримінаційного фізіологічного збудження (Weisfeld, 2013).

Згідно з наступною теорією Шахтера-Зінгера (Schachter-Singer), фізіологічне збудження є важливим для визначення інтенсивності емоційного досвіду. Проте, оскільки емоції включають подібні фізіологічні реакції, неможливо розрізнити, яку конкретно емоцію буде відчувати людина, просто отримуючи інформацію від станів тіла. Натомість емоції визначаються на основі всієї доступної інформації щодо поточної ситуації та попереднього досвіду. Іншими словами, аспект когнітивної оцінки (а не фізіологічної) є головним фактором, який дозволяє відрізнити один стан від іншого (Schachter, 1962).

Наступна теорія, вказує на те, що емоції виникають в результаті серії оцінок. Первинна оцінка визначає позитивне чи негативне значення конкретної події для благополуччя індивіда. Після цього відбувається процес переоцінки, спрямований на визначення здатності людини впоратися з наслідками події. Таким чином, оцінення відбувається безпосередньо перед емоцією, тобто емоції є результатом когнітивних процесів. Тому ця теорія отримала назву когнітивно-посередницької, оскільки повторна оцінка може змінити початкові враження і, як наслідок, емоції, що виникають (Lazarus, 1982).

Інтероцептивна теорія, розроблена А. Дамасіо (Damasio, 2005), має деякі спільні риси з теорією Джеймса-Ланге. Відповідно до неї, відчуття та свідомі переживання загалом виникають із репрезентації власних тілесних станів (інтероцепція та пропріоцепція), які інтегровані та розподілені на різних рівнях і регіонах нервової системи, включаючи кору головного мозку (наприклад, острівець, соматосенсорна кора) та підкіркові структури (наприклад, базальні ганглії, мигдалеподібне тіло). Саморепрезентація та постійне оновлення інформації щодо стану власного тіла є вирішальними для виживання, оскільки ЦНС має постійно регулювати тілесні процеси для підтримки гомеостазу в мінливому середовищі. Також, тілесна репрезентація тіла необхідна для ширшого основного образу Я, вирішального для формування відчуттів, що є необхідним (разом із наявністю інтероцепції) для виникнення свідомого досвіду (Damasio, 2013).

Теорія сконструйованих емоцій, запропонована Л. Барретт (Barrett, 2019), припускає, що емоційні епізоди та інші психічні стани виникають, коли мозок використовує попередній досвід для прогнозування значення сенсорних сигналів від тіла та навколишнього середовища в поточній ситуації. Мозок класифікує сенсорні події, передбачаючи їх найімовірніші причини, що дає йому змогу прогнозувати та регулювати системи організму в очікуванні майбутніх фізіологічних потреб. Таким чином, прогнози надають значення сенсорним вхідним сигналам, пов'язуючи їх із очікуваними потребами організму.

Згідно з теорією, емоції – це соціально сконструйовані категорії, які можуть зазнавати змін залежно від культури та часу. Дані категорії (наприклад, страх, щастя, гнів) такі ж реальні, як і будь-яка інша конструкція, для існування якої потрібне усвідомлення. Таким чином, мозок не спеціалізується на обробці емоцій, і вони не є вродженими, а радше він має здатність будувати емоційний епізод на основі певної ситуації. Взаємозв'язок між мозком і емоціями слід розглядати через призму розуміння того, що

структури мозку здатні виконувати численні функції залежно від активних мереж і патернів спільної активації в будь-який момент (Barrett, 2017).

Згідно з теорією свідомості вищого порядку, розробленою Дж. Леду (LeDoux, 2015), існує єдина кортикальна система для створення свідомих переживань. Ця система вимагає процесів уваги, метапізнання, саморепрезентації (інтероцепція) та наявності робочої пам'яті. З цієї точки зору, одна й та сама кортикальна система вищого порядку для створення свідомого досвіду просто отримує різні вхідні дані, які визначають, що саме ми усвідомлюємо в будь-якому випадку. Ці вхідні дані надходять із систем першого порядку, наприклад, підкоркової структури мигдалеподібного тіла. Таким чином, об'єктивно вимірні поведінка та фізіологічні реакції обумовлені емоційними подразниками, контрольованими підкірковими ланцюгами першого порядку, тоді як суб'єктивні емоційні переживання є результатом діяльності систем вищого порядку, особливо за участю ряду зон префронтальної кори (наприклад, дорсолатеральні, вентромедельні та орбітофронтальна ділянки) (LeDoux, 2017).

### **1.3. Нейроанатомія процесів обробки емоційних виразів облич**

Сприйняття та обробка емоційних виразів облич були широко дослідженні за допомогою різноманітних методів. Зокрема в обстеженнях, що фіксували викликану активність на даний тип стимулів, дослідженнях пацієнтів з певними ураженнями та стимуляцією окремих зон під час виконання відповідних завдань. Далі буде оглянуто інформацію щодо ділянок кори головного мозку та підкіркових структур, які є важливими елементами системи функціонування даних процесів.

Зазвичай виділяють декілька регіонів мозку, які вважають специфічними щодо аналізу облич та які складають основу системи їх обробки: веретеноподібна звивину (веретеноподібна область обличчя – fusiform face

area), нижню потиличну кору (потилічна зона обличчя – occipital face area) та задню частину верхньої скроневої борозни (posterior superior temporal sulcus) (Bernstein, 2015).

Для процесів обробки обличчя було розроблено декілька моделей. Згідно з однією з перших та найбільш впливовою моделлю (Нахбу, 2000), основну систему аналізу складають дорсальний на вентральний шляхи. Обидва шляхи розпочинаються з OFA, яка здійснює ранні стадії обробки рис обличчя. Вентральний шлях далі проектується до FFA, яка залучена до репрезентації інваріативних особливостей обличчя (наприклад, ідентичність). Дорсальний шлях взаємозв'язаний з рSTS, що бере участь в репрезентації змінних аспектів (наприклад, вираз обличчя, напрям погляду, рухи губ).

Дещо згодом було запропоновано (О'Тооле, 2002) декілька зміни до даної моделі. До аналізу структури руху додалась середня скронева зорова область (middle temporal visual area – MT), яка крім подальшого взаємозв'язку з рSTS, взаємодіє з FFA, шляхом передачі динамічної інформації в статичній формі (структура з руху). Також була розширена роль рSTS в обробці ідентичності за рахунок аналізу руху, але це здійснюється лише для знайомих облич ("динамічний підпис").

Нещодавно представлена інтегрована модель дещо модифікує дві попередні (Bernstein, 2018). Згідно з нею, OFA в основному зв'язана з FFA, але не з рSTS. MT функціонально пов'язана з вентральними та дорсальними областями, посилюючи першим сигналом для аналізу "структури з руху", другим – для обробки руху. Таким чином, вентральні зони (OFA та FFA) залучені до обробки форми обличчя, незмінних та змінних його аспектів (для динамічних та статичних облич). Дорсальні області ж беруть участь в обробці руху обличчя та його змінних аспектів (вираз).

Мигдалеподібне тіло є важливою структурою в кодуванні емоційних сигналів. Припускають, що воно має доступ до двох паралельних джерел візуальної інформації. Прямий підкірковий шлях від верхніх горбиків забезпечує швидку, але грубу обробку афективної інформації та повільніший,

але більш детальний кортикальний шлях із залученням дальніх сполучних шляхів від вентрального зорового потоку (Tamietto, 2016).

Перший підкірковий шлях є філогенетично давнім, спирається в основному на інформацію з магноцелюлярних нейронів і вибірково налаштований на нижчі просторові частоти, які передають глобальну конфігураційну інформацію, достатню для швидкого та грубого сприйняття емоційних виразів. Другий кортикальний шлях є більш філогенетично новим, отримує дані від парвоцелюлярних клітин і реагує головним чином на високі просторові частоти, які передають повільну та дрібнозернисту інформацію, важливу для детального аналізу рис обличчя (Celeghin, 2019).

Так, в нещодавньому дослідженні (внутрішньочерепний запис потенціалів поля) були наведені дані, що підтверджують існування філогенетично давнього підкіркового шляху (Mendez-Bertolo, 2016). Таким чином, частина інформації щодо емоційних виразів обличчя може бути представлена вже на досить ранніх етапах в зоровій системі та впливати на процеси подальшої обробки.

Широко поширеною є думка щодо центральної ролі мигдалеподібного тіла в обробці страху. Зокрема, спостерігається активація мигдалеподібного тіла при представленні наляканих обличчя (Pare, 2004). Також, деякі дослідження вказують на те, що мигдалина може проявляти підвищену чутливість до зображень із широко розкритими очима, які потенційно можуть бути індикатором страху. Зміщення уваги до області очей корелює з активністю мигдалеподібного тіла у здорових обстежуваних, але знижується у пацієнтів з ураженням даної структури, які також мають труднощі при розпізнаванні страху (Adolphs, 2005).

Проте, метааналітичні дані продемонстрували залученість правої мигдалини при сприйнятті сумних та щасливих обличчя (Fusar-Poli, 2009). Також пошкодження в цій зоні призводили до порушення розпізнавання емоції відрази (Adolphs, 2010). Враховуючи це, було припущено, що

мигдалина не є виключно специфічною щодо емоції страху, а загалом приймає участь в обробці помітних, важливих стимулів (Harris, 2014).

Острівцевій корі відводять важливу роль в обробці емоції відрази. Так, було продемонстровано значну активації правого переднього острівця в розпізнаванні даного виразу обличчя (Philippi, 2009). Також метааналіз продемонстрував білатеральну активацію острівця при обробці відрази; хоча права частина цієї структури була чутливою до емоції страху (Fusar-Poli, 2009). До того ж, дослідження пацієнтів після перенесення інсульту з ураженням цієї ділянки (Tippett, 2018) показало порушення розпізнавання не тільки відрази, а й інших емоційних виразів облич (наприклад, щасливих та розлючених). Це аналогічно вказує на важливість острівцевої кори в розпізнаванні виразів облич (особливо, мотиваційно важливих).

Було продемонстровано важливість правої соматосенсорної кори (right somatosensory cortex) як компонента системи обробки емоцій. Дослідження з використанням методів нейровізуалізації виявило, що підвищена активність в цій ділянці пов'язана зі здатністю розрізняти вирази облич (Kropf, 2019). До того ж, обстежувані з ураженням rSCx погано виконували завдання із розпізнавання (Atkinson, 2009). Також вплив транскраніальної магнітної стимуляції, націленої на rSCx, створювало труднощі в парадигмі з розрізнення емоцій (Pitcher, 2009).

В нещодавньому фМРТ дослідженні було показано, що мультिवоксельний аналіз патернів (multi-voxel pattern analysis) ділянок правої соматосенсорної кори містить інформацію, що пов'язана з певними виразами обличчя (Kragel, 2015). До того ж, наявний певний ступінь соматотопічної організації, який дозволяє ідентифікувати конкретні емоції шляхом розшифрування активності в областях S1, які представляють найбільш помітні риси обличчя, пов'язані з кожною емоцією.

З'являється все більше доказів того, що ділянки, котрі залучені до семантичної обробки є необхідними для обробки та диференціації емоцій. Наприклад, передня скронева частка відіграє вирішальну роль у збереженні

концептуальних знань, пов'язаних із соціальною сферою. Зокрема охоплюючи загальні абстрактні переконання про світ: норми поведінки, характерні для конкретного місця, і концепцій рис характеру та психічного стану (Zahn, 2007).

Тому деякі дослідження перевіряли гіпотезу про те, що люди з пошкодженням ділянок мозку, пов'язаних із семантичною обробкою, можуть відчувати труднощі зі сприйняттям емоцій. Наприклад, в одному з них (Lindquist, 2014) перевіряли здатність пацієнтів із семантичною деменцією (форма первинної прогресуючої афазії, яка викликає труднощі в доступі та використанні концептуальних знань) сприймати окремі емоції на обличчях за допомогою завдання сортування карток. На відміну від здорової контрольної групи, пацієнти з даним захворюванням не могли розділити обличчя на категорії, що відображають окремі емоції. Розподілення відбувалося радше на основі афекту (нейтральні, приємні та неприємні), що загалом свідчить про сприйняття валентності, але не окремих емоцій (наприклад, щастя, страху, відрази).

В іншому обстеженні (Jastorff, 2016) було використано поведінковий дефіцит у диференціації емоцій для прогнозування загальнономозкових моделей нейродегенерації пацієнтів із деменцією. Пацієнти, які мали труднощі з ідентифікацією конкретних емоцій, частіше мали дегенерацію в областях мозку, пов'язаних із семантикою (наприклад, вентролатеральна префронтальна кора та скроневий полюс).

Також важливою частиною системи обробки емоцій різні ділянки префронтальної кори. Наприклад, у пацієнтів з пошкодженням венстромедіальної префронтальної кори (ventromedial prefrontal cortex) виявили проблеми з розпізнаванням емоцій на обличчі (Heberlein, 2008). В іншому дослідженні групи людей із вогнищевими ураженнями префронтальної кори було продемонстровано роль двох регіонів в аналізі емоцій: венстромедіальну ділянку пов'язали із процесами виявлення емоційних сигналів від виразів обличчя; вентролатеральну префронтальну кору – із правильною класифікацією цих сигналів (Tsuchida, 2012).

Вважається, що вентролатеральна та дорсомедіальна ділянки префронтальної кори задіяні в асоціюванні абстрактних причин емоціям, що були диференційовані. Ці області відповідають за виконавчі функції, які дозволяють отримати релевантну абстрактну інформацію та вибрати найбільш прийнятну інтерпретацію серед конкуруючих варіантів, що загалом передбачає створення висновків про ментальний стан (в емоційних і соціальних сферах) (Spunt, 2017).

#### **1.4. Потенціали, пов'язані з подіями**

Оскільки обробка емоційних подразників має тенденцію відбуватися досить швидко та динамічно, метод потенціалів, пов'язаних з подіями є одним із кращих варіантів для дослідження даних процесів. ППП відображають біоелектричну активність, яка виникає у відповідь на певну подію (наприклад, сенсорну, когнітивну чи моторну) (Lusk, 2014). Вони є результатом сумарної активності збуджувальних і гальмівних постсинаптичних потенціалів згенерованих пірамідальними нейронами кори, які зазвичай розташовані паралельно один до одного та перпендикулярно до поверхні кори (Weinberg, 2013).

Одночасна активність великої кількості нейронів та їх відповідне розташування дозволяє електричним полям сумуватися й практично миттєво поширюватись до поверхні голови. Ці аспекти дозволяють реєструвати різниці в напрузі з часовою роздільною здатністю на рівні мілісекунд. Проте дані властивості поширення постсинаптичних потенціалів та можливість їх одночасного виникнення в різних ділянках створюють вагомі труднощі для локалізації ППП, оскільки зареєстрований сигнал під одним електродом відобразить активність від декількох зон мозку (Karpenman, 2016).

Таким чином, зареєстровані ППП, відображають роботу скоординованої мережі нейронів, яка в деяких випадках може бути представлена одним

анатомічним вузол, але також може відображати динамічні обміни між областями мозку, а також широко поширену нейромодулюючу активність. Тобто, може бути більш плідним розглядати ППП не з точки зору активності окремої ізольованої ділянки мозку, а як індексацію активації нейронних мереж (Weinberg, 2013).

ППП визначається шляхом усереднення визначеної кількості сегментів ЕЕГ-активності зафіксованої за часом до конкретного подразника чи події. Процедура усереднення, а також фільтрація (наприклад, 0,1 – 30 Гц), корекція базової лінії, заміна поганих каналів та видалення артефактів необхідні для отримання нормального співвідношення сигнал/шум (signal-to-noise ratio).

В отриманих ППП виділяють декілька параметрів: латентність (часовий показник появи реакції після експозиції подразника), амплітуда (величина зміни напруги), полярність (позитивна чи негативна), топографічне розподілення (наприклад, фронтальне, потиличне). Ідентифікують та називають дані коливання відповідно до їх полярності, приблизної латентності, топографії (наприклад, N170, P300, рання задня негативність), а також функціонального значення (негативність, пов'язана з помилками) (Luck, 2014).

### **1.5. ППП при сприйнятті та обробці емоційних облич**

Одним з перших компонентів ППП, що може бути виявленим при обробці емоційних виразів облич є P100 (або ж P1). P1 – це позитивна активність, яка виникає в потилично-парієтальних зонах, досягаючи свого піку близько 100-130 мс (Moradi, 2017). Вважається, що P100 генерується в латеральних екстрастріарних ділянках кори головного мозку (Clark, 1994).

Дані щодо модуляції цього компонента емоційними виразами облич доволі відрізняються: спостерігався вплив як наляканих (Moradi, 2017), так і щасливих облич (Valdes-Conroy, 2014) на протиположний нейтральним; інші

дослідження такого ефекту не виявили (Acunzo, 2019). На амплітуду та латентний період P100 також можуть впливати зміни рівня яскравості та контрастність. Таким чином, збільшення амплітуди P1 при представленні афективних зображень може бути наслідком цього впливу, спричинений особливостями виразів обличчя (наприклад, посмішка чи широко відкриті очі) (Puce, 2013).

N170 – це негативний компонент ППП, який виникає в часовому проміжку 130-220 мс після появи стимулу, досягаючи свого піку близько 170 мс в скронево-окципітальних ділянках. Вважається, що до генерації даної активності можуть бути залучені веретеноподібна звивина, верхня скронева борозна та нижня потилична звивина (Neath-Tavares, 2016).

N170 достовірно демонструє збільшення значень амплітуди для облич, ніж для інших категорій візуальних об'єктів (Rossion, 2014). Дана активність також демонструє збільшення значень амплітуди до схематичних зображень облич (Ganis, 2008). До того ж, зображення передньої частини автомобілів можуть викликати подібне посилення N170, ймовірно, через наявність рис схожих на обличчя. Тому, цей компонент трактують як індикатор структурної обробки обличчя, що відображає етап на якому окремі риси інтегруються в цілісний об'єкт (Rossion, 2000).

Аналогічно до попереднього компонента, вплив емоційно забарвлених виразів облич на N170 доволі непослідовний. Повідомляється про посилення даного компонента до таких емоцій як щастя (Faja, 2016), відраза (Almeida, 2016) й, особливо, гнів та страх (Calvo, 2014). Інше дослідження, в якому використовували в якості стимулів шість базових емоцій, не продемонструвало такого впливу (Kawamoto, 2014). Проте, недавній метааналіз все ж підтвердив вплив емоційного вмісту на модуляцію даного компонента (Hinojosa, 2015).

Позитивний потенціал вертексу (vertex positive potential) також є чутливим до облич компонентом. Він має подібний до N170 латентний період та

центрально-лобну локалізацію. Було припущено, що дані компоненти це два прояви одних і тих самих мозкових процесів (Jouise, 2005).

Хоча слід зазначити, що в деяких дослідженнях спостерігались окремо N170 або окремо VPP. Це було пов'язано із використанням різних позиції для референтних електродів (наприклад, кінчик носа або мочки вух) (Olivares, 2015). Щодо модуляції VPP емоційними стимулами ефект знову-таки неузгоджений: повідомлялося про його посилення для щасливих (Luo, 2010) та наляканих (Williams, 2006) виразів облич або про відсутність такого впливу (Rossignol, 2005).

P2 (або ж P200) – це позитивний компонент ППП, що досягає свого піку в межах латентного періоду 200-250 мс після експозиції подразника. Дана активність є найбільш виражена в потилично-темпоральних відведеннях. Типові конфігурації облич викликають посилення цього компонента у порівнянні з нетиповими (Schweinberger, 2016). Також було показано вплив емоційних виразів облич (наприклад, засмучених) на P2 (Jaworska, 2012)

Рання задня негативність (early posterior negativity) виникає в межах 250-350 мс в потилично-скроневих регіонах кори. Зазвичай EPN пов'язують із процесами уваги та емоційної обробки (Aldunate, 2018). Так, було продемонстровано вплив на даний компонент емоційних виразів облич, як-от, засмучених, наляканих (Smith, 2013), щасливих (Rellecke, 2012) та злих (Calvo, 2013) у порівнянні з нейтральними.

N250r – це негативний компонент ППП, який досягає свого піку близько 250 мс після представлення стимулу. Дана активність зазвичай підрозділяють на два субкомпонента: більша позитивна реакція в передніх відділах мозку та більша негативна в нижніх скроневих регіонах (Alzqueta, 2019). Вважається, що N250r відображає пошук збережених структурних представлень облич у довготривалій пам'яті (Heisz, 2012).

Багато досліджень продемонстрували, що реакція N250r є значно сильнішою для загальновідомих або знайомих (для конкретної особи) людських облич порівняно з іншими видами подразників (наприклад,

зображення будівель) (Hashemi, 2019). Крім того, зазвичай N250r має більші амплітудні значення для облич своєї раси порівняно з обличчями інших рас (Herzmann, 2016). Також спостерігався ефект посилення даного компонента при обробці знайомих емоційних облич, ніж в реакціях на нейтральні (Langeslag, 2009).

Пізній позитивний потенціал (late positive potential) виникає в часовому проміжку 300-700 мс після появи подразника. Він є найбільш помітним в окципітальних, парієтальних та центральних ділянках кори (Найсак, 2020). Припускають, що LPP генерується та модулюється розгалуженою мережею мозку, що складається як з кортикальних ділянок, так і з підкіркових структур, пов'язаних із візуальною та емоційною обробкою. Ступінь внеску кожної з цих структур у модуляцію LPP залежить від валентності (Liu, 2012).

Для пояснення функціонального значення пізнього позитивного потенціалу існує дві гіпотези. Перша (або ж гіпотеза посиленого сприйняття) припускає, що даний компонент відображає загальне розширення перцептивної чутливості у всьому полі зору, потенційно адаптивну реакцію уваги на емоційні подразники. Друга (або ж гіпотеза глобального гальмування) передбачає, що пізній позитивний потенціал відображає глобальне гальмування потенційно конкуруючих представлень у зоровій корі, що дозволяє проводити більш вибірково обробку емоційного стимулу (Brown, 2012).

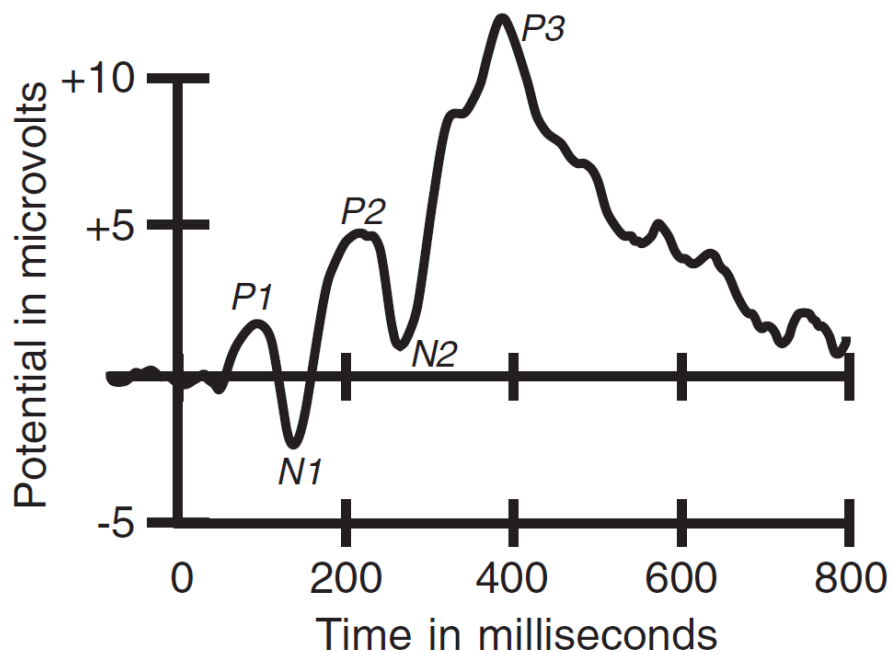
Загалом було продемонстровано ефект збільшення амплітуди для емоційно забарвленого стимулів (приємних і неприємних) порівняно з нейтральними (Найсак, 2020). Зокрема це спостерігалось для зображень емоційних виразів облич (Smith, 2013). Деякі дослідження повідомляють про збільшення значень амплітуди даного компонента специфічно до певної емоції (наприклад, посилення LPP для щасливими виразів облич) (Bublitzky, 2014). Проте інші обстеження не підтвердили подібну чутливість пізнього позитивного потенціалу (Kulke, 2019).

Повільна позитивна хвиля (slow positive wave) виникає приблизно після 700 мс після демонстрації стимулів. Вона є найбільш помітною в центральних та парієтальних ділянках кори. Різновалентні неоднозначні вирази облич можуть посилювати дану активність та призводити до збільшення латентного періоду порівняно з однозначними (DaSilva, 2016). Також було продемонстровано послаблення цього компонента в реакціях на щасливі обличчя (Debruille, 2011).

Проведений огляд літературних даних дає підстави стверджувати, що тема вивчення механізмів сприйняття та обробки емоційно забарвлених візуальних стимулів є доволі важливою та актуальною. Отже, ми вирішили дослідити відмінності реакцій, відображені у викликаних когнітивних потенціалах, пов'язаних з подіями в 100 мс, та при стандартному часі демонстрації стимулу 500 мс та при значному зменшенні часу експозиції в п'ять разів (100 мс).



визначається як 10%. Потиличний (О) та нижній лобний (Fp) сагітальні електроди кріпляться в 10% від даної відстані. Решта (F, Cz, P) сагітальних електродів розташовуються поміж зазначених двох (Fp, O) на однакових відстанях (20%). Друга основна лінія в цій системі проходить через vertex (вершину голови) та між двома вушними ямками. Скроневі електроди, що розміщуються внизу (Т3, Т4) закріплюються в 10% даної відстані над вушними ямками. Інші частина електродів цієї лінії (С3, Сz, С4) розміщуються на однакових відстанях (20%).



**Рис. 2.2.** Приклад компонентів потенціалів, пов'язаних із подіями (Luck, 2014)

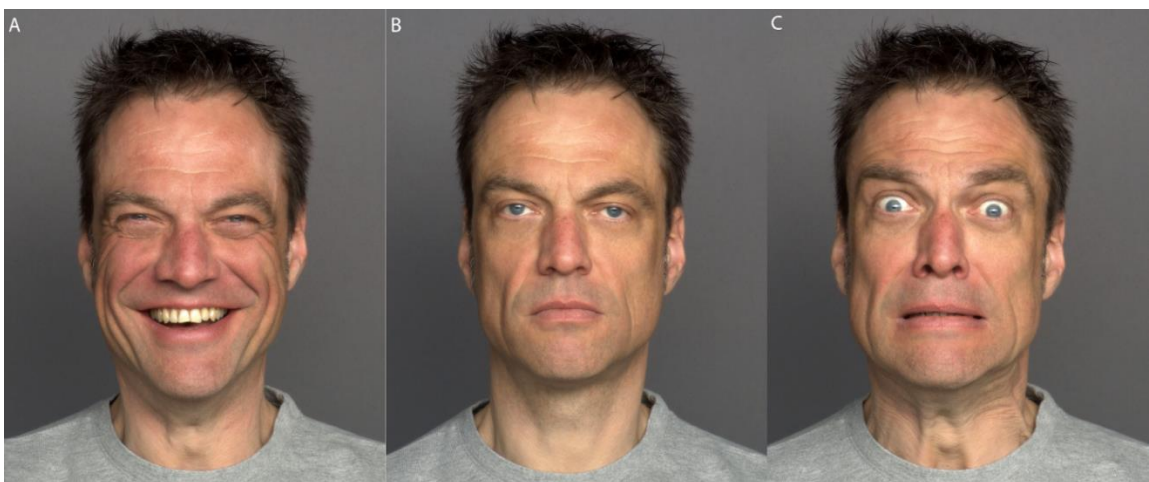
Від inion до nasion пролягають лінії через точки С3, С4, Т3, Т4 і по ним будуть розміщені інша частина електродів (Т5, Т6, Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, P3, P4). Далі на мочках вух закріплюються референтні електроди (А2 та А1). Для полегшення реєстрації електричної активності головного мозку, весь череп розбивається на ділянки, які позначаються наступним чином: С – область центральної борозни, О - окципітальна (потилична), Р – парієтальна (тім'яна),

T – скронева (темпоральна), F – фронтальна (лобна), Fp – префронтальна області. Парні номери на місцях відведень позначають розташування на правій півкулі, непарні – на лівій.

## 2.2 Схема експерименту

В даному дослідженні на добровільних засадах взяли участь 30 обстежуваних без вад здоров'я (10 чоловіків та 20 жінок) віком від 18 до 25 років. Запис рутинної ЕЕГ та ППП (рис. 2.2) проводився на програмно-апаратному комплексі “Нейроком” (ХАІ Медика, м. Харків, Україна). Накладання електродів на голову відбувалося згідно з міжнародною системою «10-20%».

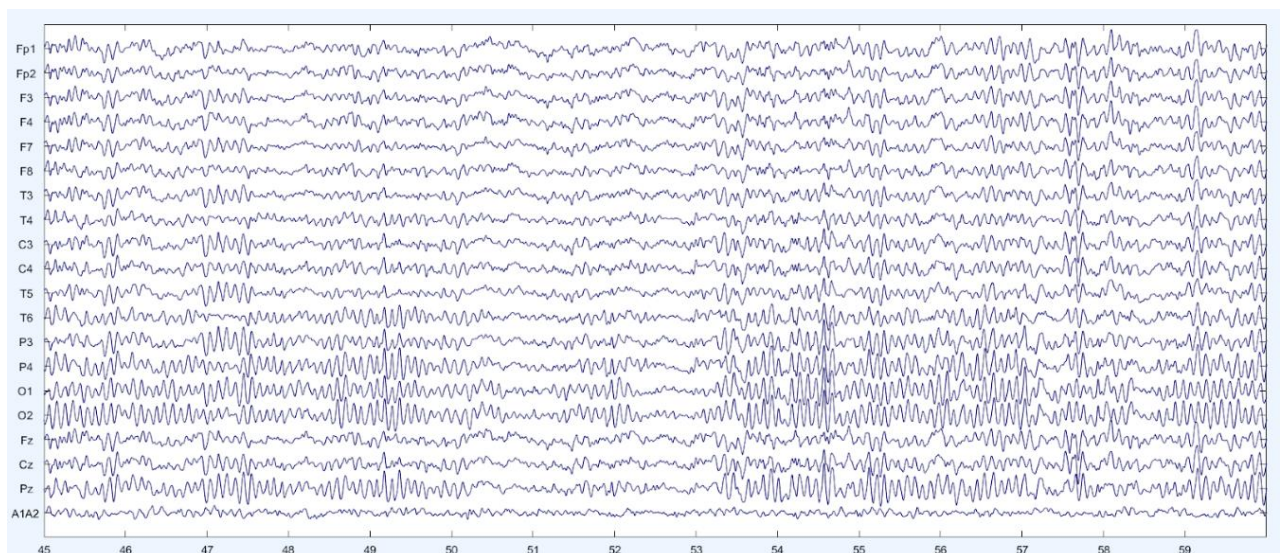
Структура експерименту була наступною: запис із закритими очима у стані спокою (3 хв), запис із відкритими очима у стані спокою (3 хв) та демонстрація двох серій зображень по 10 хв кожна під час яких відбувався запис когнітивних ППП. В першій серії були нейтральні та позитивні за валентністю обличчя людей, в другій – нейтральні та негативні.



**Рис.2.3.** Приклади стимулів, що використовувалися в експериментах (щасливий (A), нейтральний (B) та наляканий (C) вирази обличчя)

Стимульний матеріал (рис. 2.3) був обраний з баз даних KDEF (Karolinska Directed Emotional Faces) (Lundqvist, 1998) та FACES (Ebner, 2010). Частими стимулами були обрані нейтральні за валентністю фотографії облич людей, тоді як рідкісними стимулами були позитивно- та негативно-валентні зображення (вирази щасливих та наляканих облич відповідно). В якості парадигми було обрано пасивний oddball. Обстежувані були проінструктовані “дивитися уважно на екран та сприймати зображення облич людей”. Усереднені криві ППП будувалися по реакціям на рідкісні стимули (емоційні вирази облич), часті стимули слугували для створення нейтрального контексту задля кращого розуміння продемонстрованих емоційних подразників.

Відображення рідкісних стимулів відбувалося за довільним патерном із ймовірністю появи 30% (період слідування – 3 с.± 30%, кількість в одній серії – 100). Обстежуваних було розділено на дві рівні групи (15/15). В першій демонстрації стимульного матеріалу відбувалася по 500 мс (4 чоловіка, 11 жінок), тоді як в другій – по 100 мс (6 чоловіків, 9 жінок).



**Рис.2.4** Приклад запису ЕЕГ, що був використаний для подальшої обробки

Опрацювання отриманих даних (рис. 2.5) було виконано за допомогою програмного пакету EEGLAB на базі програми MATLAB. Для аналізу було обрано відрізки від 150 мс до представлення стимулу та 1000 мс після цього. Було проведено фільтрацію (0.1 – 30 Гц), виявлення та очищення від артефактів, ICA-аналіз та подальшу візуалізацію отриманих усереднених кривих ППП.

Було здійснено чотири порівняння: 1) між усередненими кривими ППП при демонстрації стимулів 100 мс та 500 мс для рідкісних позитивних стимулів; 2) між усередненими кривими ППП при демонстрації стимулів 100 мс та 500 мс для рідкісних негативних стимулів; 3) між усередненими кривими ППП при демонстрації стимулів 500 мс для рідкісних позитивних та негативних стимулів; 4) між усередненими кривими ППП при демонстрації стимулів 500 мс для рідкісних позитивних та негативних стимулів. Для виявлення ділянок зі статистично значущими відмінностями амплітуди ( $p < 0.05$ ) був застосований критерій FDR.

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБГОВОРЕННЯ

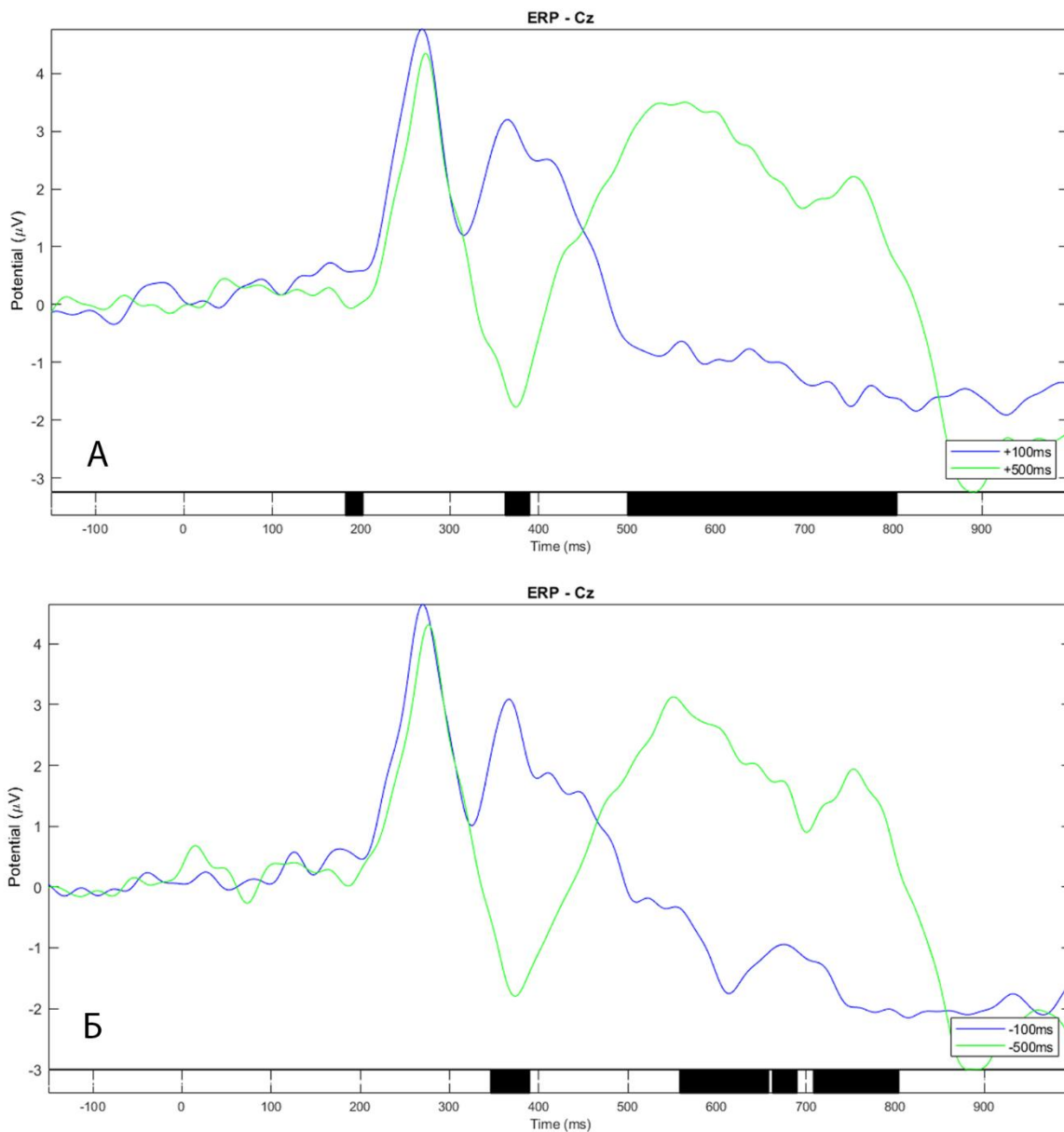
Основні порівняння були здійснені між реакціями при часу демонстрації 500 мс (група 1) та 100 мс (група 2) для щасливих та для наляканих виразів облич. Час представлення подразників 500 мс досить часто використовується в дослідженнях з емоційними стимулами і є цілком достатнім для нормального сприйняття та обробки головним мозком. На противагу цьому скорочення експозиції зображень до 100 мс створює труднощі (нестачу часу) для цих процесів, що й буде описано в даному розділі. Також, додатково було проведено два порівняння між реакціями на щасливі та налякані обличчя окремо в межах 500 мс та окремо в межах 100 мс.

#### **3.1 Порівняння реакцій на емоційні вирази обличчя при демонстрації стимулів 500 мс та 100 мс**

Початково зареєстрована активність відповідає компоненту P300 (Wong, 2021), який виникає в часових рамках 200-320 мс в парієтальних, скроневих, центральних та лобних зонах (рис. 3.1, 3.2, 3.3). P300 (або ж P3) це позитивний компонент ППП, який досягає свого піку в межах 250-500 мс після представлення стимулу. Він може бути виявлений на всіх ділянках кори головного мозку, але головним чином розподілення реєструється по середній лінії електродів (наприклад, Fz, Cz, Pz) (Huang, 2015).

Зазвичай P300 виникає під час виконання завдань (наприклад, парадигма oddball) в якому представлені часті (стандартні) та рідкісні (цільові) стимули, з більшими значеннями амплітуди при реакції на останні (van Dinteren, 2014). Також його підрозділяють на два окремі компоненти – P3a та P3b. Перший зазвичай має фронто-центральну локалізацію та є індикатором розподілення

уваги. Другий має парієто-темпоральне розподілення та пов'язаний із процесами пам'яті (Polich, 2007).



**Рис. 3.1.** Усереднені криві потенціалів, пов'язаних з подіями при сприйнятті щасливих (А) та наляканих (Б) облич за умов нейтрального контексту у середніх центральних зонах (Cz). Реакції для групи 1 позначена зеленою лінією, реакція для групи 2 – синьою лінією. Ділянки зі статистично значущими відмінностями позначено чорним кольором ( $p < 0.05$ ),  $n=30$

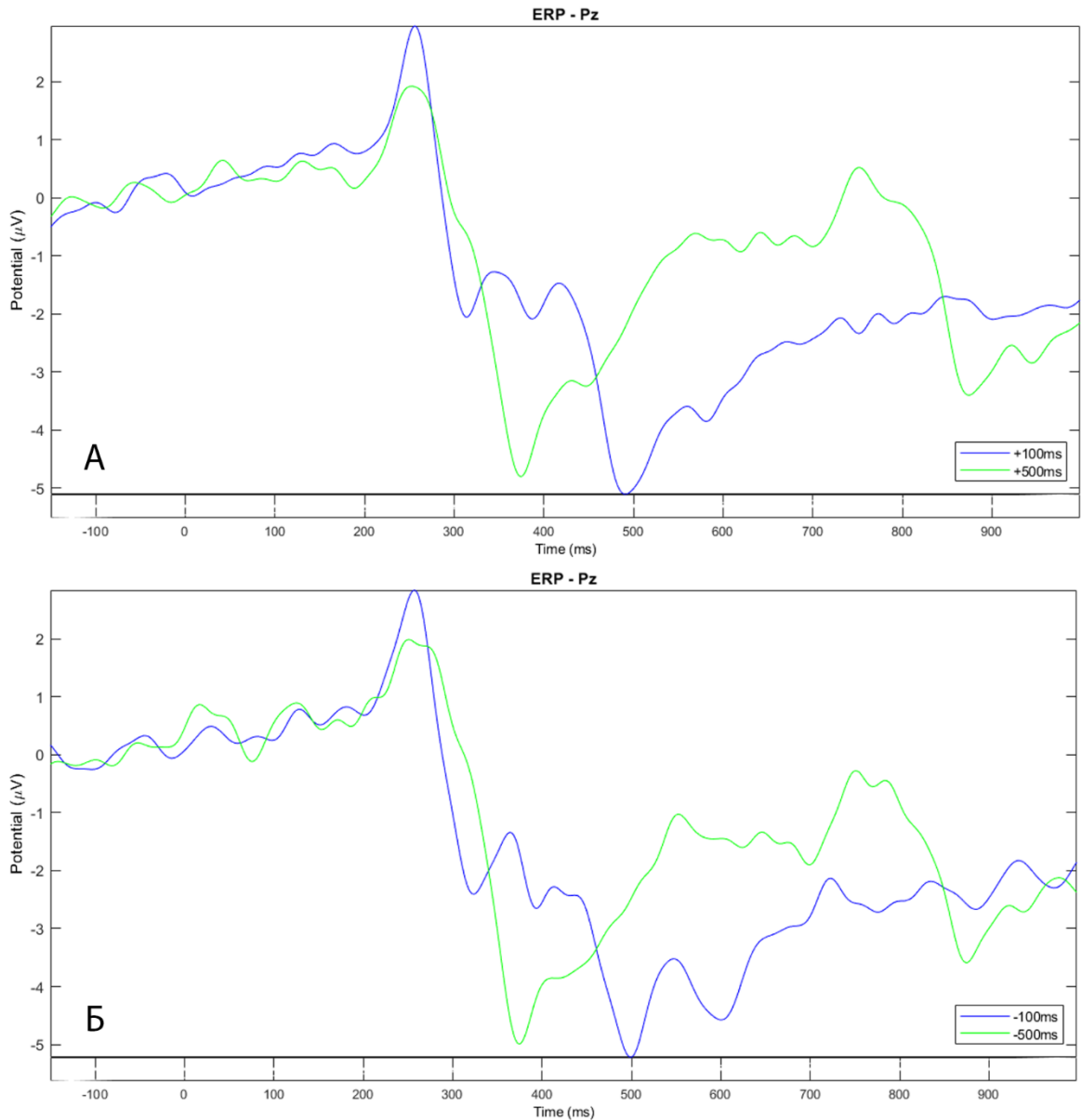
В тім'яних та задніх скроневих зонах (рис. 3.2, 3.3) дана позитивна активність досягала свого піку дещо раніше (255-260 мс) ніж в інших відведеннях (наприклад, фронтальні зони – 270-280 мс). В деяких дослідженнях в межах вказаних латентностей виділяють компонент P250 (модулюється емоційними виразами облич), який має потилично-тім'яне (іноді окципіто-скроневе) розподілення (DaSilva, 2016) та окремо ранній фронто-центральный P3, або ж вказують загалом як ранній P3 (P3a) (Feng, 2009). В нашій роботі ми загалом визначаємо позитивну активність в межах вказаної латентності як P3a.

В реакціях на щасливі обличчя загалом спостерігались вищі значенні амплітуди (рис. 3.1, 3.2) для групи 2 (максимальне значення – Cz = 4.75 мкВ; найбільша різниця – 0.8 мкВ (Pz)) за винятком кількох ділянок (Fp2, T4, P4). Для групи 2 значення амплітуди були в межах: фронтальні – 2.45-4.4 мкВ, центральні – 3.8-4.75 мкВ, скроневі – 1.6-1.95 мкВ, парієтальні – 1.6-2.95 мкВ. Для групи 1 зареєстровані показники амплітуди були в наступних діапазонах в різних регіонах: фронтальні – 2.35-4.15 мкВ, центральні – 3.5-4.35 мкВ, скроневі – 1.4-2.85 мкВ, парієтальні – 1.5-1.9 мкВ.

В реакціях на налякані обличчя (рис. 3.1, 3.2) також спостерігались вищі значенні амплітуди для групи 2 (максимальне значення – Cz = 4.65 мкВ; найбільша різниця – 0.95 мкВ (Pz)) за винятком відведення T6 (різниця склала 0.45 мкВ) та F8 (подібні значення). Для групи 2 значення амплітуди були в межах: фронтальні – 2.5-4.4 мкВ, центральні – 3.85-4.65 мкВ, скроневі – 1.4-3.1 мкВ, парієтальні – 1.65-2.8 мкВ. Для групи 1 зареєстровані показники амплітуди були в наступних діапазонах в різних регіонах: фронтальні – 2.2-3.9 мкВ, центральні – 3.8-4.3 мкВ, скроневі – 1.3-3 мкВ, парієтальні – 1.6-2 мкВ.

Вважається, що можливими основними генераторами P3a є структури фронтальної кори та передня поясна звивина (Wronka, 2012). Також дослідження пацієнтів із пошкодженнями лобної долі продемонстрували зниження показників амплітуди для P3a (Knight, 1995), що вказує на

важливість дорсолатеральної префронтальної кори в генерації цієї активності. Інше МРТ обстеження показало кореляцію між об'ємом сірої речовини фронтальних ділянок та індивідуальною варіабельністю амплітуди цього компонента (Ford, 1994).



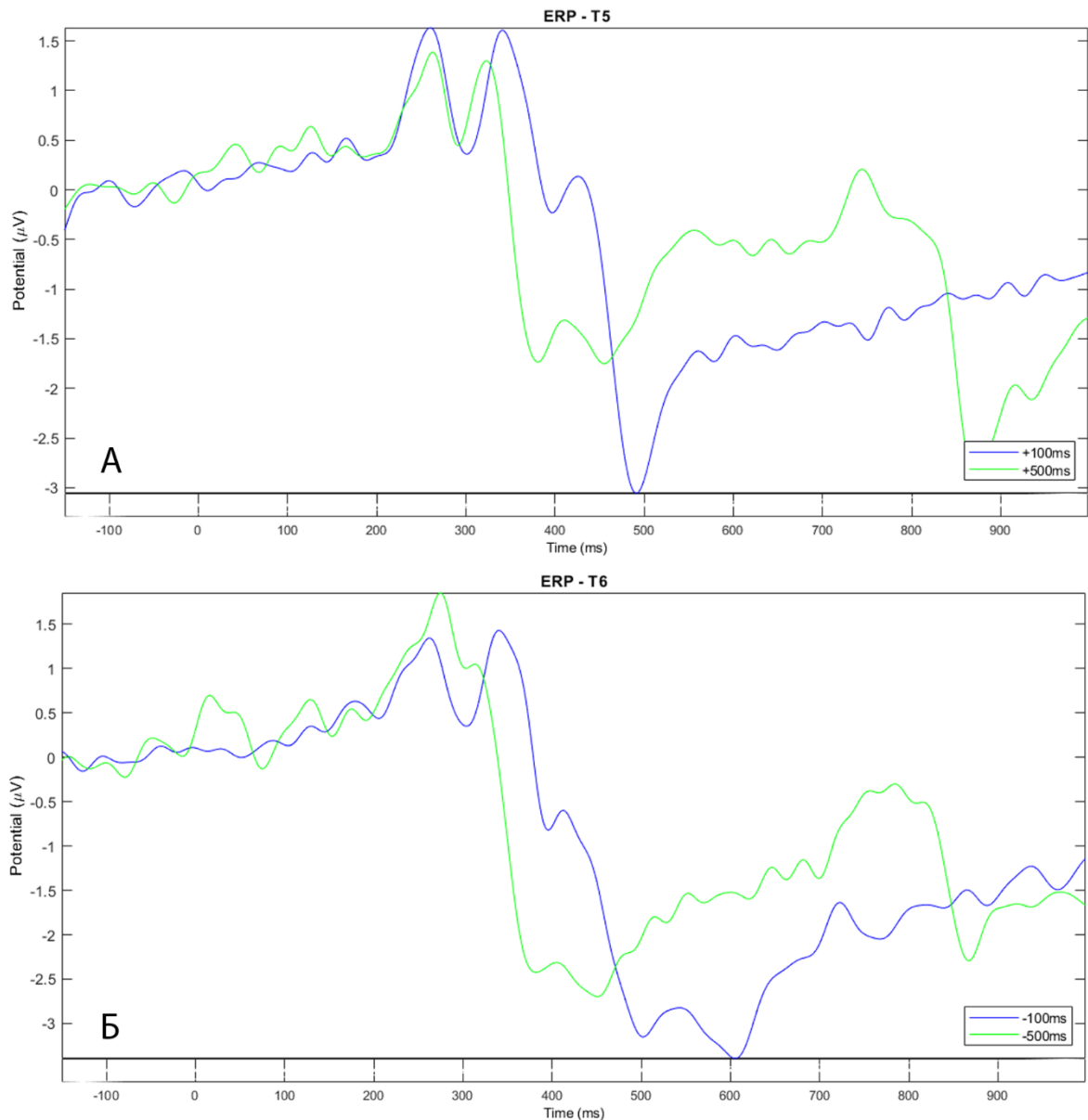
**Рис. 3.2.** Усереднені криві потенціалів, пов'язаних з подіями при сприйнятті щасливих (А) та наляканих (Б) облич за умов нейтрального контексту у середніх потиличних зонах (Pz). Реакції для групи 1 позначена зеленою лінією, реакція для групи 2 – синьою лінією, n=30

На противагу цьому, існують дані щодо залученості в генерації P3a задніх частин кори. Так, було припущено, що активність середньої скроневої звивини, скроневого полюса, парагіпокампальної та веретеноподібної звивин може бути пов'язана з неспецифічною орієнтувальною реакцією, яка відображається в P3a (Halgren, 1995). До того ж, пацієнти з вогнищевим ураженням гіпокампу також демонстрували зменшення даної хвильової активності (Knight, 1996).

P3a досягав своїх максимальних значень в середніх фронтальних та центральних ділянках (рис. 3.1) при обох порівняннях для групи 1 та групи 2, що відповідає літературним даним (Riggins, 2020). Даний компонент відображає процес перерозподілу уваги, пов'язаний із виявленням зміни атрибутів для рідкісних стимулів. Більша невідповідність щодо стандартних стимулів відповідатиме збільшенню показників амплітуди (Vorra, 2021). Таким чином, виявлення відмінностей залучатиме увагу для полегшення наступних стадій оцінки значення стимулу, пов'язаних із процесами пам'яті (Polich, 2007). Проте статистично достовірних відмінностей для P3a в зазначеному часовому періоді не виявлено.

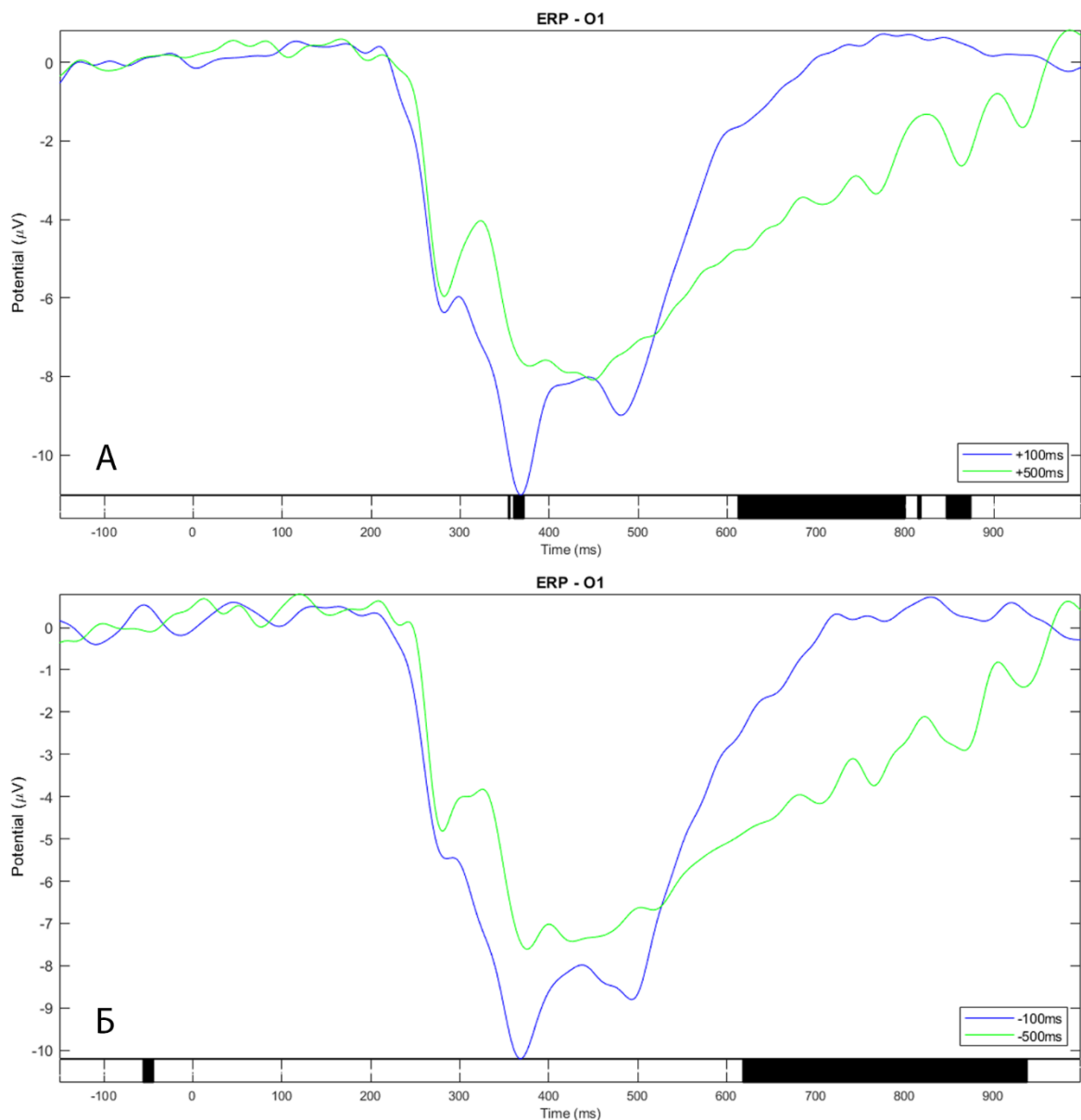
В цьому ж часовому проміжку виникав негативний компонент, який мав окципіто-темпоральну локалізацію (рис. 3.3, 3.4). Для групи 1 він знаходився в межах 220-320 мс, тоді як для групи 2 його тривалість становила 200-300 мс. Враховуючи його топологію та латентний період, цілком можливо припустити, що дана хвиля відповідає ранній задній негативності (EPN) (Aldunate, 2018).

EPN визначають як негативний компонент ППП, який виникає в межах 200-350 мс та має скронево-потиличне розподілення (Schupp, 2006). Проте слід зазначити, що в деяких публікаціях можна зустріти дещо різне визначення латентного періоду для даного компоненту, початок якого іноді визначають з 150 мс. Ранню задню негативність не завжди пов'язують з конкретним піком, й, іноді, його визначають як зниження амплітуди у визначеному часовому проміжку (Rellecke, 2012).



**Рис. 3.3.** Усереднені криві потенціалів, пов'язаних з подіями при сприйнятті щасливих облич у лівій скроневій зоні (А) та наляканих облич у правій скроневій зоні (Б) за умов нейтрального контексту. Реакції для групи 1 позначена зеленою лінією, реакція для групи 2 – синьою лінією,  $n=30$

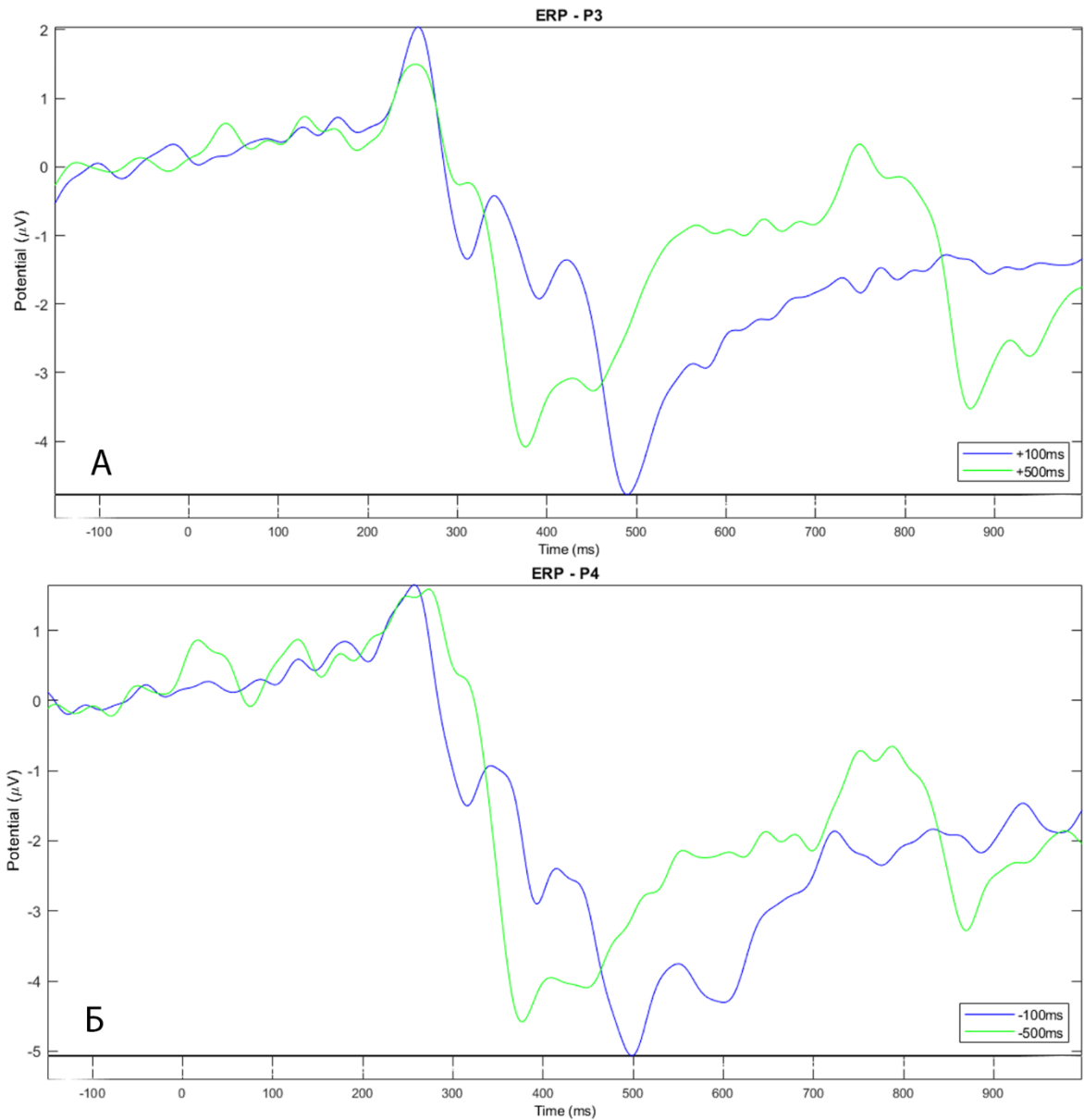
Для обох груп EPN був найбільш вираженим в потиличних відведеннях (рис. 3.4, 3.6), а найбільші значення амплітуди були зареєстровані в реакціях на щасливі обличчя (O1, O2). Загалом для групи 2 спостерігались вищі показники амплітуди в порівнянні з групою 1. Найбільша різниця становила 0.6 мкВ (рис. 3.6) для наляканих облич (O2). Проте статистично достовірних відмінностей для EPN не було зареєстровано.



**Рис. 3.4.** Усереднені криві потенціалів, пов'язаних з подіями при сприйнятті щасливих (А) та наляканих (Б) облич в нейтральних контекстах у лівих потиличних зонах (O2). Реакції для групи 1 позначена зеленою лінією, реакція для групи 2 – синьою лінією. Ділянки зі статистично значущими відмінностями позначено чорним кольором ( $p < 0.05$ ),  $n = 30$

Загалом повідомляється про посилення ранньої задньої негативності до емоційних подразників у порівнянні з нейтральними і взаємозв'язок із рівнем збудження (arousal) стимулів (Olofsson, 2008). Даний компонент також пов'язують із процесами задіяння ресурсів уваги щодо емоційно помітних

подразників, взаємодії емоційної інформації й спрямованості уваги (Aldunate, 2018). Крім того, повідомляється, що ERN може відображати етап оцінки емоційного вмісту стимулів (Ліо, 2010).

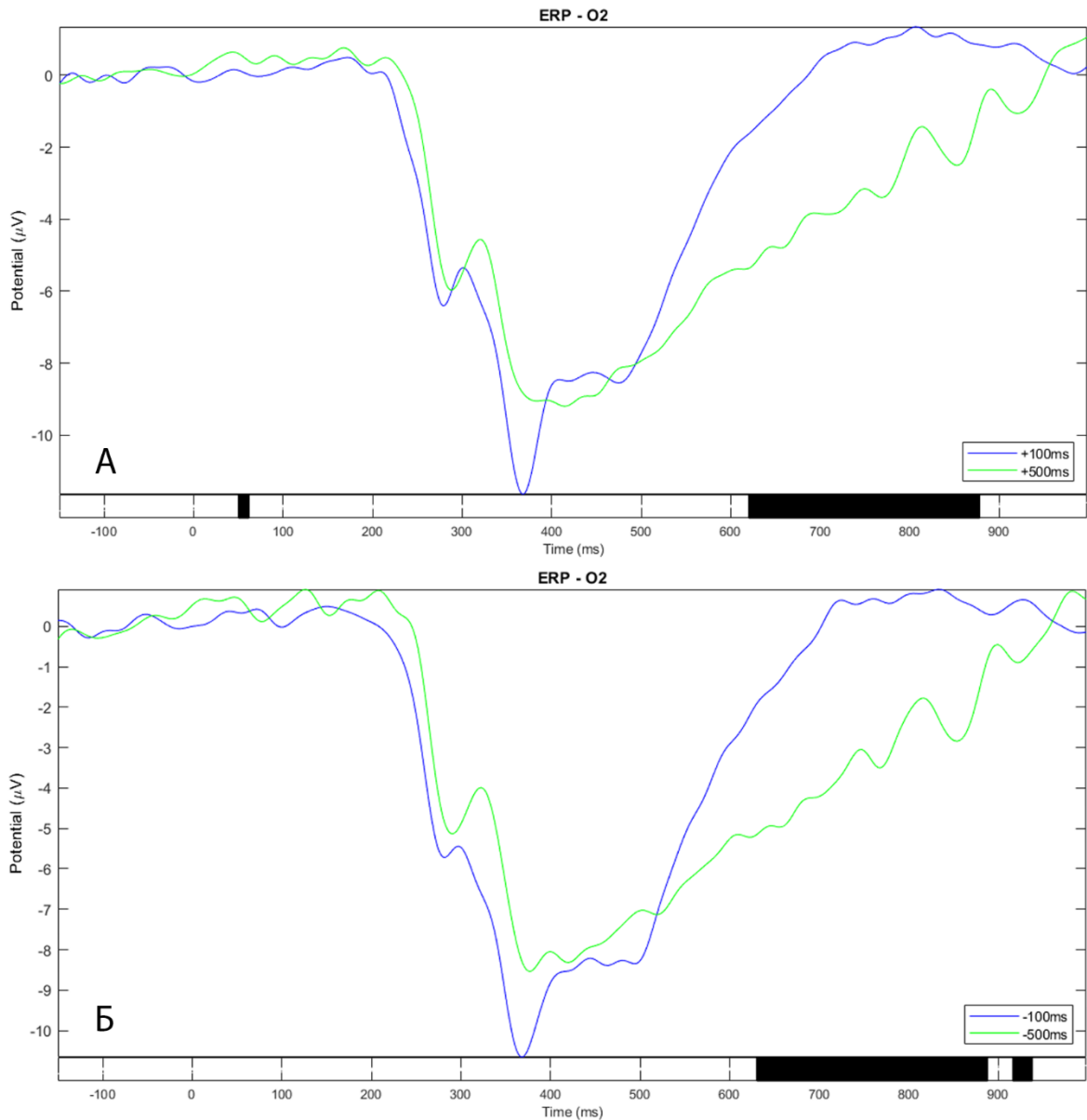


**Рис. 3.5.** Усереднені криві потенціалів, пов'язаних з подіями при сприйнятті щасливих облич у лівій парієтальній зоні (А) та наляканих облич у правій парієтальній зоні (Б) за умов нейтрального контексту. Реакції для групи 1 позначена зеленою лінією, реакція для групи 2 – синьою лінією, n=30

В деяких обстеженнях спостерігалось збільшення значень амплітуди EPN до наляканих та злих виразів облич ніж до щасливих чи нейтральних (Rellecke, 2011). Інші ж дослідження продемонстрували посилення цього компонента до щасливих облич також (Yoon, 2015). Тому було припущено, що даний компонент відображає посилення емоційної обробки для емоційних облич в потилично-скроневиx зонах (можливо включаючи верхню скронеvu борозну, потиличну та веретеноподібну звинини) (Schupp, 2004). Проте такий ефект посилення EPN також спостерігався при демонстрації емоційно забарвлених зображень складних візуальних сцен (Steppacher, 2016) та слів (Schacht, 2009), що дає підстави вважати даний компонент одним із індексів загальної (неспецифічної) обробки емоцій.

Враховуючи зазначене, початкові етапи обробки виразів облич (200-320 мс), відображені в компонентах P3a та ранній задній негативності, загалом демонструють незначну відмінність в структурі та амплітудних характеристик ППП. Проте при скорочені часу демонстрації зображень до 100 мс загалом відбувається задіяння більшої кількості ресурсів уваги щодо рідкісних (та одночасно мотиваційно важливих) стимулів для полегшення подальших стадій обробки, а також посилення первинного емоційного визначення стимулу.

Наступним зареєстрованим компонентом (рис. 3.5, 3.6), який був помітний в усіх ділянках кори є N400 (або ж N400-подібна активність) (Olivares, 2015). Це негативний компонент ППП, який досягає свого піку близько 400 мс після демонстрації подразника. Він визначається як за досягненням негативних значень, так і за зниженням амплітуди відносно попереднього компонента ППП (Davis, 2017). Початково був описаний в дослідженнях з використанням вербальних стимульних матеріалів (Allergetta, 2020), проте N400-подібна активність також була знайдена в парадигмах з використанням зображень облич людей (Jimenez-Ortega, 2020).



**Рис. 3.6.** Усереднені криві потенціалів, пов'язаних з подіями при сприйнятті щасливих (А) та наляканих (Б) облич в нейтральних контекстах у правих потиличних зонах (O2). Реакції для групи 1 позначена зеленою лінією, реакція для групи 2 – синьою лінією. Ділянки зі статистично значущими відмінностями позначено чорним кольором ( $p < 0.05$ ),  $n = 30$

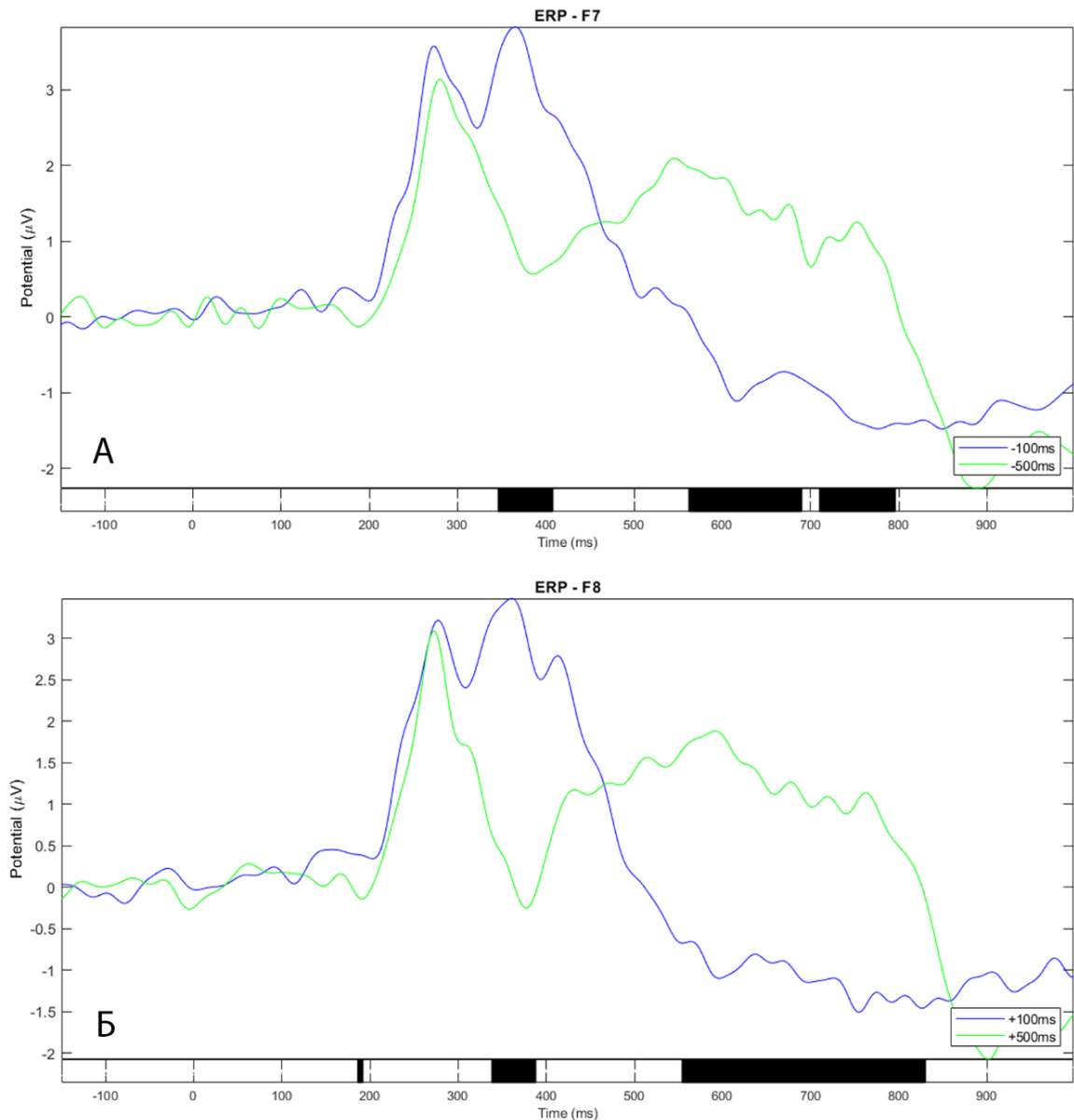
Так, при обробці знайомих облич відбувається посилення N400 у порівнянні з незнайомими, що вказує на процес пошуку семантичної інформації (Schweinberger, 2016). Ефект повторення стимулів може призвести до зменшення амплітуди N400, можливо, через попередню активацію даного процесу (Eimer, 2000). Також було показано, що N400 є чутливим щодо вимог

із визначення емоцій. Наприклад, нетипові емоційні обличчя призводили до збільшення даного компонента порівняно з типовими в завданнях із розпізнаванням емоцій (Paulmann, 2009).

Тому було припущено, що можливі генераторами N400-подібної активності, що залучені до семантичних аспектів обробки обличчя є ділянки передньої веретеноподібної звивини та вентральні скроневі структури (Schweinberger, 2003). Проте в дослідженнях із використанням облич в якості стимульного матеріалу повідомляється іноді про відмінності в локалізації, латентних періодах та досягненнях пікової цього компонента. Це цілком може залежати від вибору парадигми (наприклад, завданнях зіставлення ідентичності, встановлення відповідності рис обличчя) обстеження та залученості вербальної інформації в обране завдання (Olivares, 2015).

Таким чином, вважається, що N400 є загальним індексом семантичного пошуку в наявних концептуальних знаннях пов'язаних із будь-яким значущим стимулом. Цей пошук залежить від вже збережених репрезентацій та від отриманих сигналів пошуку, створених попереднім контекстом. Отже, збільшення амплітуди може відповідати посиленню процесів семантичної обробки (Kutas, 2011).

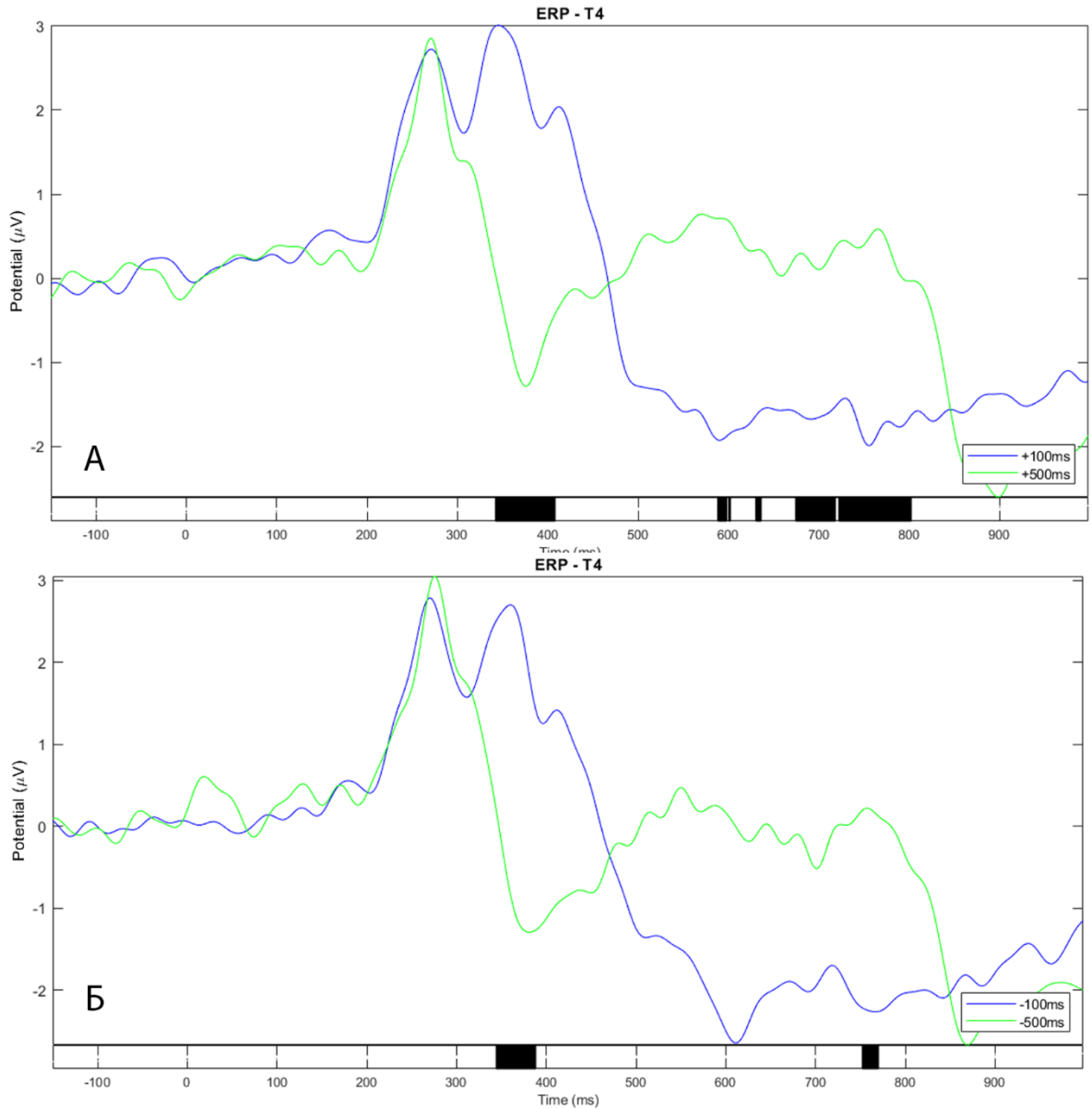
При двох порівняннях для обох груп даний компонент набував максимальних значень в потиличних відведеннях (рис. 3.3, 3.6). В цих зонах в реакціях на щасливі обличчя (максимальні значення: група 1 – O2 = -9.1 мкВ; група 2 – O2 = -11.6 мкВ) та в реакціях на налякані (максимальні значення: група 1 – O2 = -8.55 мкВ; група 2 – O2 = -10.65 мкВ) демонструвалось збільшення показників амплітуди для групи 2 ніж для групи 1. Враховуючи це, збільшення значень амплітуди N400 в окципітальних зонах при демонстрації стимулів 100 мс може відповідати складнощам отримання значення емоцій в створеному нейтральному контексті. Це також може означати залучення більшої кількості семантичної інформації для компенсації короткотривалості представлення стимулу.



**Рис. 3.7.** Усереднені криві потенціалів, пов'язаних з подіями при сприйнятті щасливих облич у лівій фронтальній зоні (А) та наляканих облич у правій фронтальній зоні (Б) за умов нейтрального контексту. Реакції для групи 1 позначена зеленою лінією, реакція для групи 2 – синьою лінією. Ділянки зі статистично значущими відмінностями позначено чорним кольором ( $p < 0.05$ ),  $n = 30$

Наступна різниця в процесах обробки, індексована N400-подібною активністю, стосується топологічного розподілення та пікової латентності. В потиличних ділянках структура та часові межі компонента є досить подібними. В інших кортикальних регіонах для групи 2 N400 досягає свого

піку (315-330 мс) дещо раніше (рис. 3.1, 3.9) або був майже не вираженим (рис. 3.7) порівняно з групою 1 (380-400 мс).



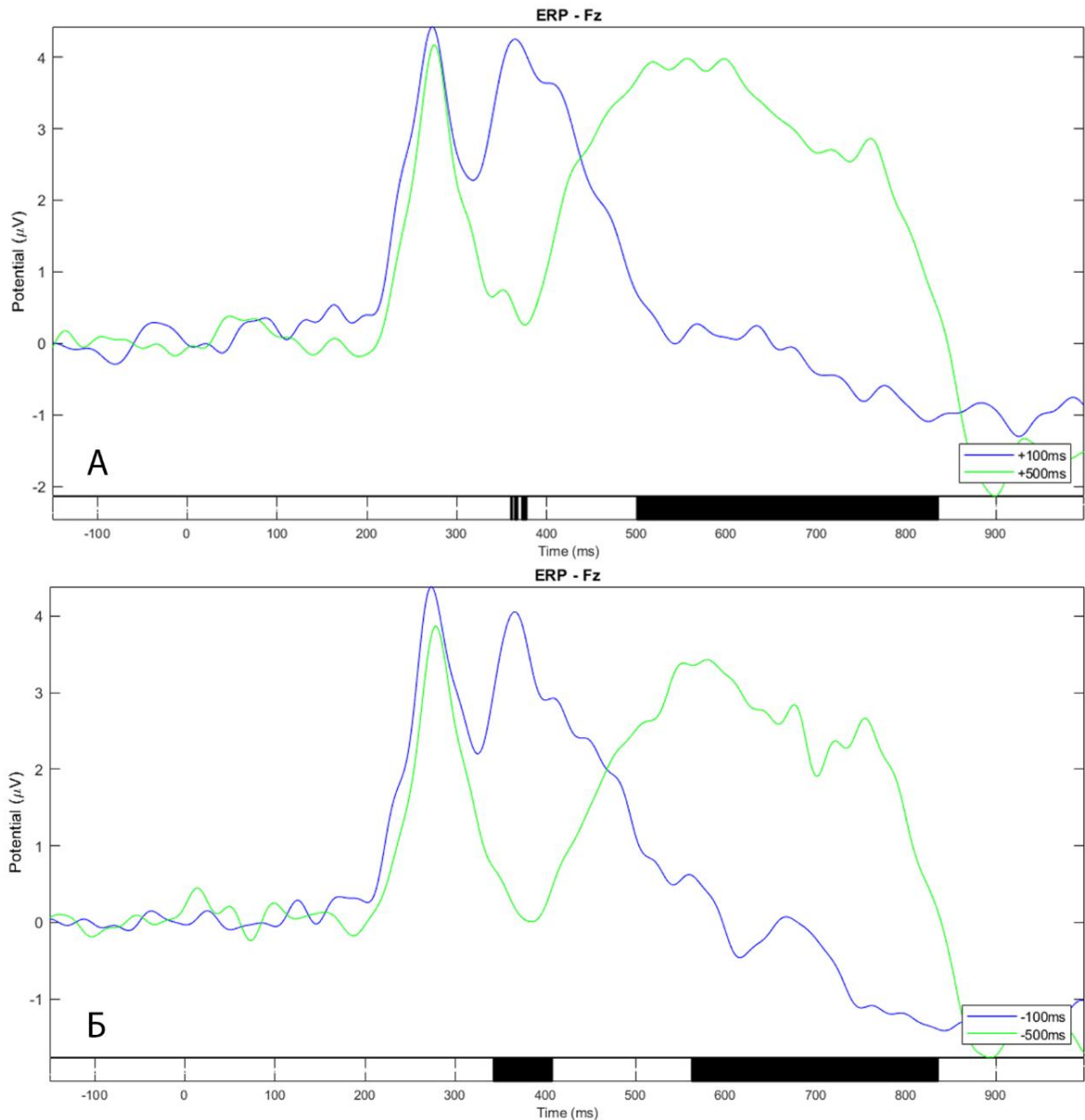
**Рис. 3.8.** Усереднені криві потенціалів, пов'язаних з подіями при сприйнятті щасливих (А) та наляканих (Б) облич за умов нейтрального контексту в правих передніх скроневих зонах (Т4). Реакції для групи 1 позначена зеленою лінією, реакція для групи 2 – синьою лінією. Ділянки зі статистично значущими відмінностями позначено чорним кольором ( $p < 0.05$ ),  $n=30$

Також слід зазначити, що для групи 2, пропри ранній пік в зазначеному проміжку, в паріетальних та задніх темпоральних ділянках N400-подібна активність досягала своїх максимальних значень близько 500 мс в порівнянні з групою 1 (рис. 3.3, 3.5). Таким чином, скорочення часу демонстрації призведе до залучення меншої кількості ділянок для семантичного декодування та оцінки інформації, а також збільшення тривалості даних процесів в окремих зонах порівняно з нормальним часом представлення стимулів (500 мс).

В реакціях на налякані обличчя статистично достовірні відмінності були знайдені в межах 345-415 мс в фронтальних (Fp1, F7, F8, F3, F4, Fz), центральних (C3, C4, Cz), передніх темпоральних (T4) відведеннях. Для щасливих облич такі відмінності спостерігались на латентності 340-410 мс в правих скроневих (T4, T6), лівій потиличній (O1), центральних (Cz, C4) та фронтальних (F3, F8) зонах.

Останньою визначеною хвильовою активністю був пізній позитивний потенціал (рис. 3.9). LPP – це позитивний компонент ППП, який виникає близько 400 мс після представлення стимулу (MacNamara, 2022). Досить багато досліджень продемонстрували, що емоційно забарвлені подразники (приємні та неприємні) призводять до збільшення значень амплітуди у порівнянні з нейтральними. Такі ж ефекти були виявлені для зображень складних афективних сцен, вербального матеріалу, жестів та виразів облич (Najcak, 2020).

Вважається, що дана чутливість до афективних подразників є результатом внутрішньої мотивованої уваги до емоційних стимулів, що залежить від їхнього рівня збудження або інтенсивності (Najcak, 2007). Наприклад, зображення, які були оцінені за більшим рівнем збудження викликали посилення LPP (de Rover, 2012). Також даний компонент залишається відносно стабільним при представленні одного і того ж емоційного стимулу декілька разів (Codispoti, 2007).



**Рис. 3.9.** Усереднені криві потенціалів, пов'язаних з подіями при сприйнятті щасливих (А) та наляканих (Б) облич в нейтральних контекстах у правих передніх скроневих зонах (Т4). Реакції для групи 1 позначена зеленою лінією, реакція для групи 2 – синьою лінією. Ділянки зі статистично значущими відмінностями позначено чорним кольором ( $p < 0.05$ ),  $n=30$

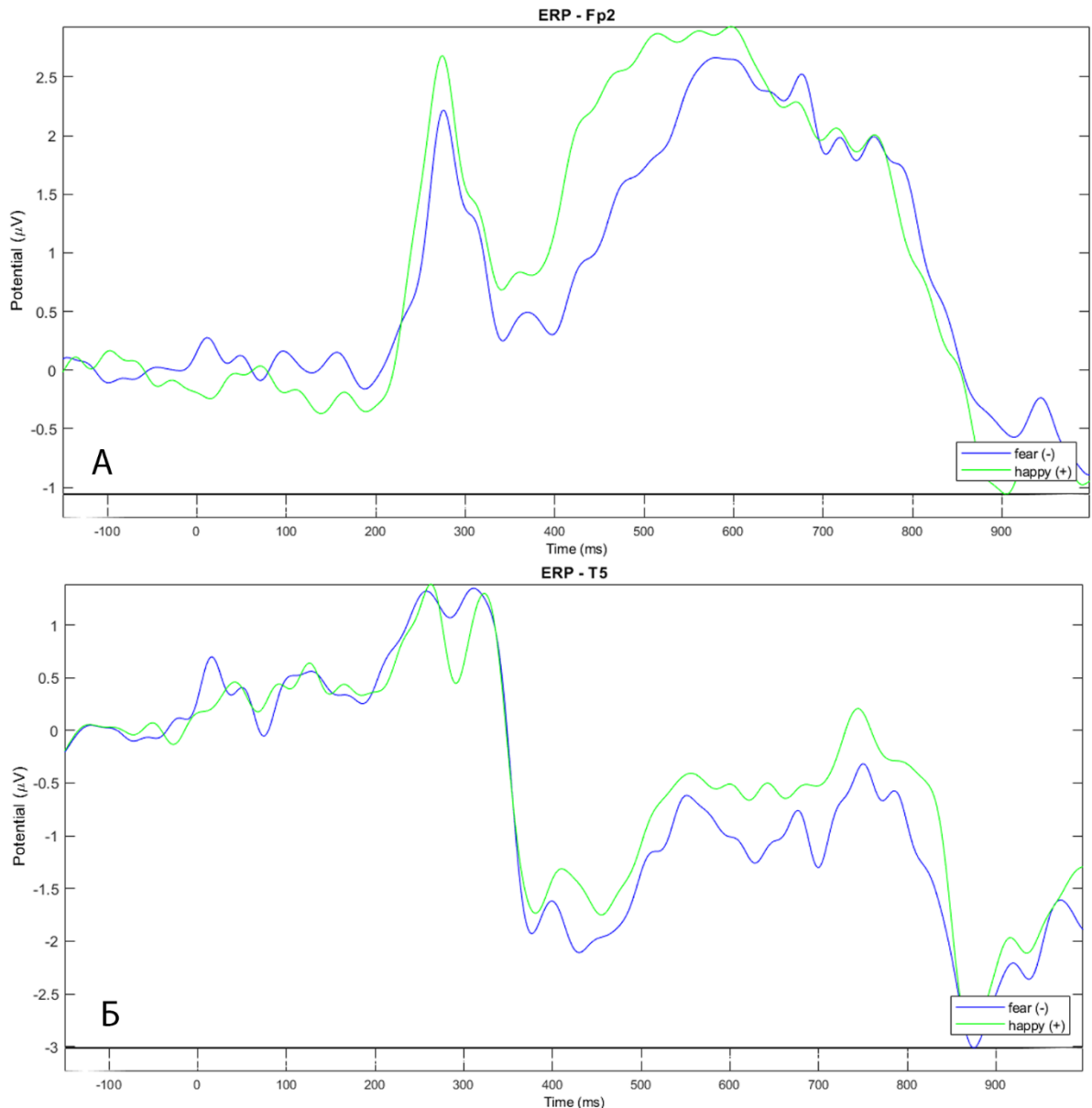
Для групи 1 пізній позитивний потенціал знаходився в межах 400-900 мс в фронтальних, центральних, скроневих та тім'яних ділянках (рис. 3.1, 3.5, 3.8, 3.9). Для групи 2 даний компонент виникав дещо раніше та тривав менше кількість часу (330-700 мс) в лобних, центральних і темпоральних зонах (рис. 3.1, 3.8, 3.9); в парієтальних відведеннях даний компонент не був виражений.

Залежність латентного періоду LPP від тривалості представлення стимулів була описана також в деяких дослідженнях: він може бути виражений за весь період наявності подразника та декілька сотень мілісекунд після (Найсак, 2020).

Пізній позитивний потенціал зазвичай описують в контексті парієто-окципітальної локалізації (Brown, 2012), проте існують дані щодо ролі в його генерації фронтальних структур головного мозку. Наприклад, пряма електрокортикальна стимуляція ділянок префронтальної кори під час демонстрації афективних зображень (Найсак, 2010) призвела до послаблення LPP в задніх кортикальних зонах. Інше магнітоенцефалографічне дослідження продемонстровано важливість префронтальної кори в генерації цього компоненту (Moratti, 2011). Так, наприклад, ділянки вентролатеральної та дорсомедіальної префронтальної кори пов'язують із виконавчими функціями, які відображають процеси отримання відповідних знань щодо стимулу і вибору серед конкуруючих інтерпретацій (Spunt, 2018).

В реакціях на щасливі обличчя для групи 2 спостерігалось посилення LPP порівняно з групою 1 (за виключенням відведень Cz та Fp2). Для групи 1 даний компонент був найбільш виражений (рис. 3.9) в середніх фронтальних та центральних ділянках (максимальне значення –  $Fz = 4$  мкВ). Для групи 2 LPP досягав максимальних амплітудних значень в середніх фронто-центральных та передніх скроневиx зонах ( $F3 = 4.4$  мкВ). Найбільша різниця (рис. 3.8) спостерігалась в передньому скроневому відведенні T4 (2.2 мкВ).

В реакціях на налякані обличчя для групи 2 також спостерігалися більші показники амплітуди пізнього позитивного потенціалу порівняно з групою 1. Для групи 1 LPP аналогічно був найбільш виражений в середніх фронто-центральных (рис. 3.1, 3.9) ділянках кори (максимальне значення –  $Fz = 3.35$  мкВ). Для групи 2 даний компонент досягав максимуму амплітудних значень в середніх лобних ( $F3 = 4.25$  мкВ), центральних та передніх скроневиx зонах. Найбільша різниця (2.25 мкВ) також була виявлена в передньому скроневому відведенні T4 (рис. 3.8).



**Рис. 3.10.** Усереднені криві потенціалів, пов'язаних з подіями при часу демонстрації стимулів 100 мс у фронтальному відведенні Fp2 (А) та при часу демонстрації стимулів 500 мс у лівій задній тім'яній зоні (Б). Реакції на налякані обличчя позначена синьою лінією, реакції на щасливі обличчя - зеленою лінією, n=30

Було припущено, що пізній позитивний потенціал відображає процеси обробки емоційно забарвлених стимулів, включаючи свідому оцінку, посилене кодування робочої пам'яті та процесів, пов'язаних із прийняттям рішень (Schupp, 2006). Враховуючи це, зменшення часу демонстрації стимулів до 100 мс призведе до загального посилення та зменшення тривалості

описаних когнітивних процесів порівняно зі стандартним часом демонстрації 500 мс.

Статистично достовірні відмінності в реакціях на щасливі обличчя були знайдені в межах 525-820 мс в фронтальних (Fp1, Fp2, F7, F8, F3, F4, Fz), центральних (C3, C4, Cz), передніх скроневих (T3, T4) та парієтальних (Pz, P3) зонах. Такі ж відмінності ще додатково були знайдені в проміжку 940-965 мс у задніх скроневих (T5, T6) та латеральних тим'яних (P3, P4) відведеннях.

В реакціях для наляканих облич статистично достовірні відмінності спостерігались в латентний період 565-840 мс в лобних (Fp1, Fp2, F7, F8, F3, F4, Fz), центральних (C3, C4, Cz) та передніх скроневих (T3, T4) ділянках. Також в межах 875-955 мс такі відмінності були зареєстровані в лівій парієтальній (P3) та задній темпоральній (T5) зонах.

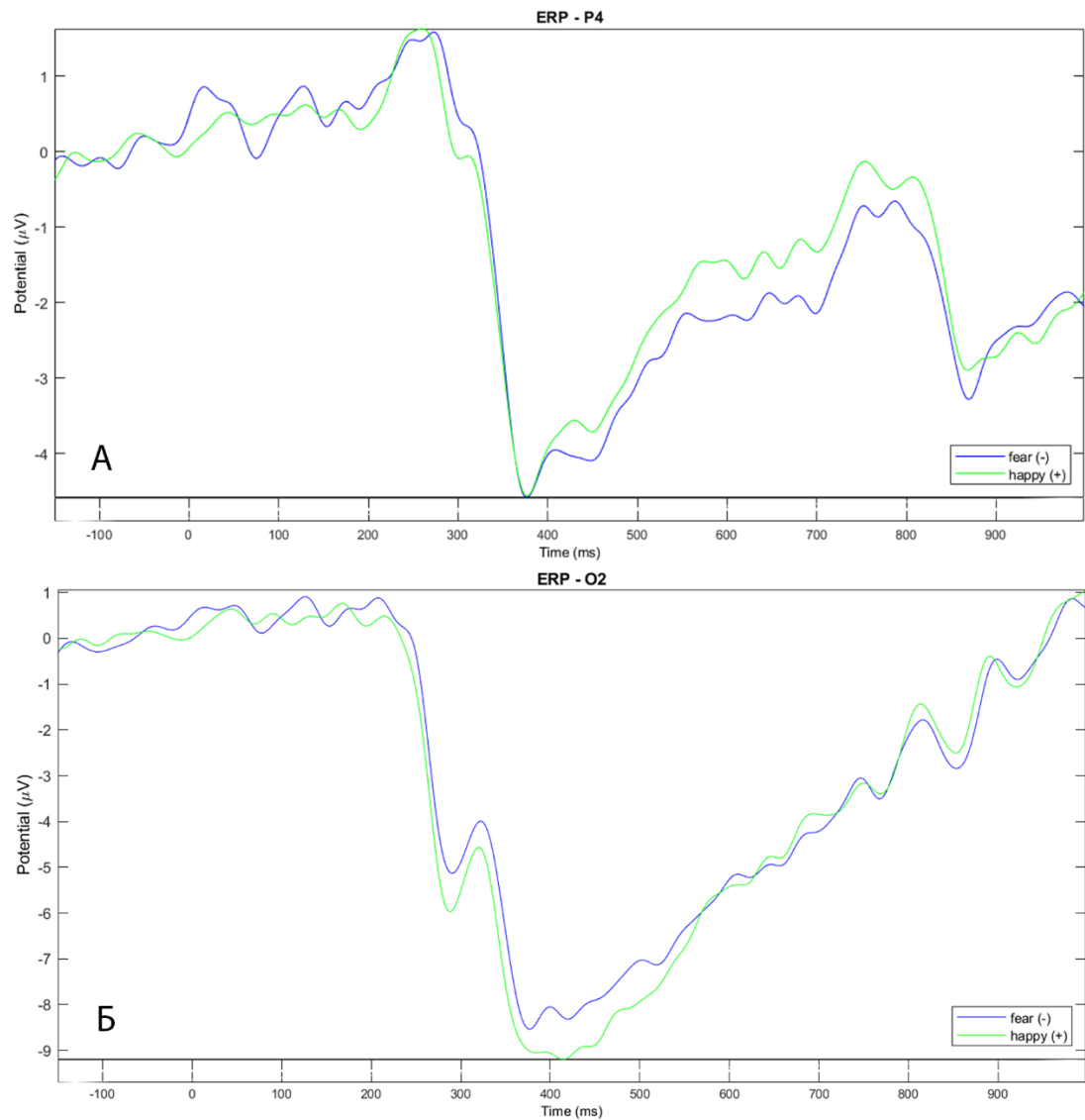
Окремо слід зазначити, що при двох порівняннях в латеральних потиличних відведеннях (O1, O2) також були наявні статистично значима різниця в межах 640-870 мс (щасливі обличчя) та 615-915 мс (налякані обличчя).

### **3.2. Порівняння реакцій на щасливі та налякані обличчя при демонстрації стимулів 500 мс**

P3a був зареєстрований в усіх відведеннях (окрім окципітальних), досягаючи максимальних значень в фронто-центрально-ділянках. Загалом в реакціях на щасливі обличчя спостерігалися вищі значення амплітуди за винятком декількох зон. Найбільша різниця була зареєстрована в зоні Fp2 – 0,5 мкВ (рис. 3.10).

Рання задня негативність спостерігався в потилично-скроневих ділянках, початково досягаючи піку близько 280 мс в зоні O1. В задніх скроневих регіонах та правій потиличній це відбувалося в межах 290-300 мс. Проте в зоні T5 в реакціях на налякані обличчя даний компонент не був вираженим (рис.

3.11). Загалом для ERP спостерігались вищі амплітудні значення в реакція на щасливі обличчя. Найвищі показники амплітуди були зареєстровані в окципітальних зонах ( $O1/O2 = 6 \text{ мкВ}$ ), а найбільша різниця (рис. 3.11) становила  $1,2 \text{ мкВ}$  ( $O2$ ).



**Рис. 3.11.** Усереднені криві потенціалів, пов'язаних з подіями при часу демонстрації стимулів 100 мс у правій парієтальній ділянці (А) та при часу демонстрації стимулів 500 мс у лівій окципітальній зоні (Б). Реакції на налякані обличчя позначена синьою лінією, реакції на щасливі обличчя зеленою лінією,  $n=30$

N400-подібна активність реєструвався на всіх відведеннях та був найбільш вираженим потилично-парієтальних зонах (рис. 3.11). Спостерігалось посилення даної активності як для щасливих (наприклад, окципітальні зони), так і для наляканих (наприклад, фронтальні зони) виразів облич або ж реакції мали подібні значення (наприклад, парієтальні регіони) (рис. 3.11).

Пізній позитивний потенціал був найбільш вираженим в середніх фронтальних та центральних ділянках та знаходився в межах 400-900 мс. У всіх відведеннях реєструвалось посилення даного компонента а реакціях на щасливі обличчя.

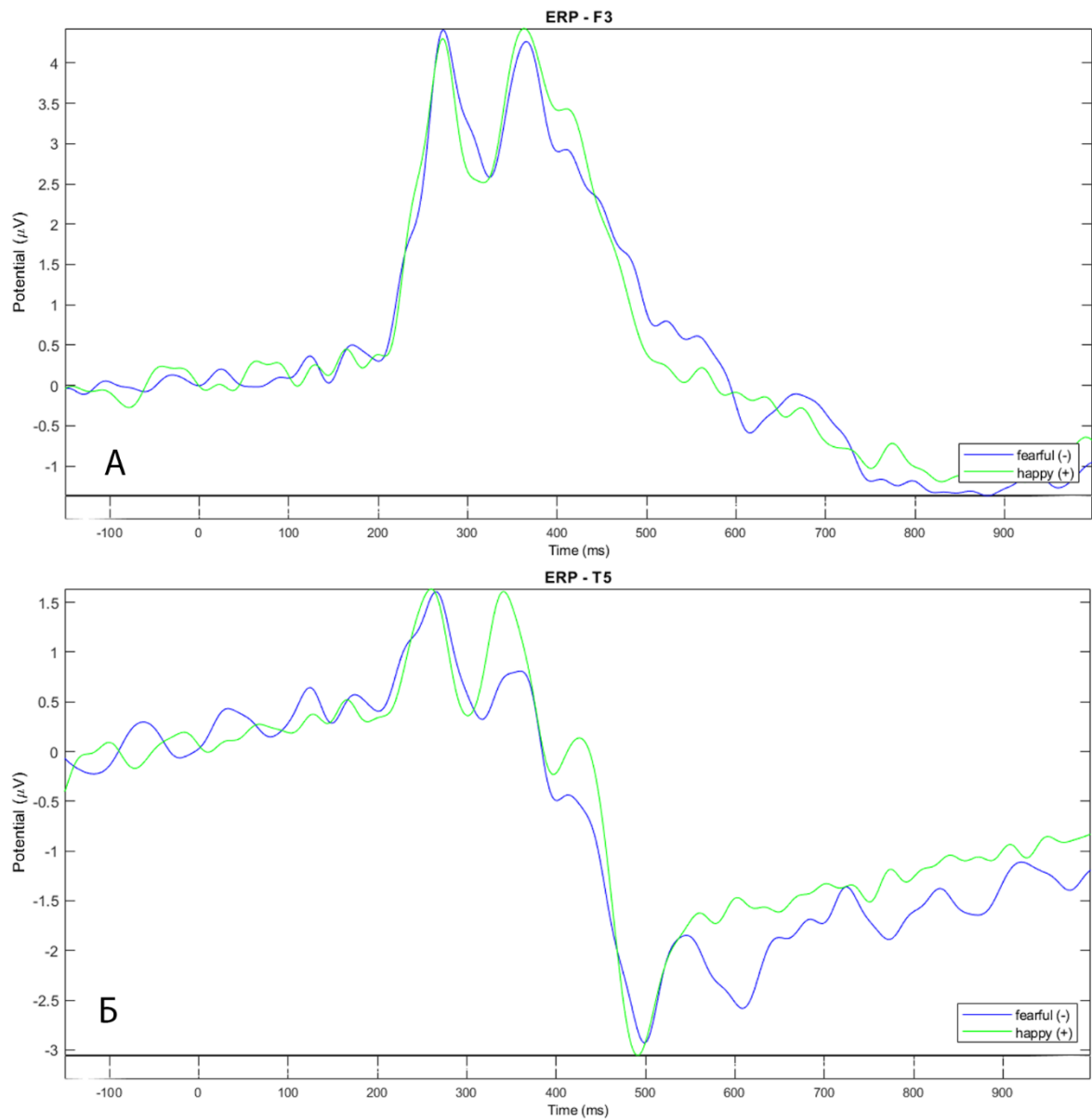
Дане порівняння продемонструвало подібність структури, латентних періодів та амплітудних характеристик (частково) ППП (рис. 3.10, 3.11) в реакціях на емоційно забарвлені стимули при часу демонстрації 500 мс. Загалом спостерігалось посилення компонентів EPN та LPP для щасливих облич. Проте статистично достовірних відмінностей в межах цього порівняння не було знайдено.

### **3.3 Порівняння реакцій на щасливі та налякані обличчя при демонстрації стимулів 100 мс**

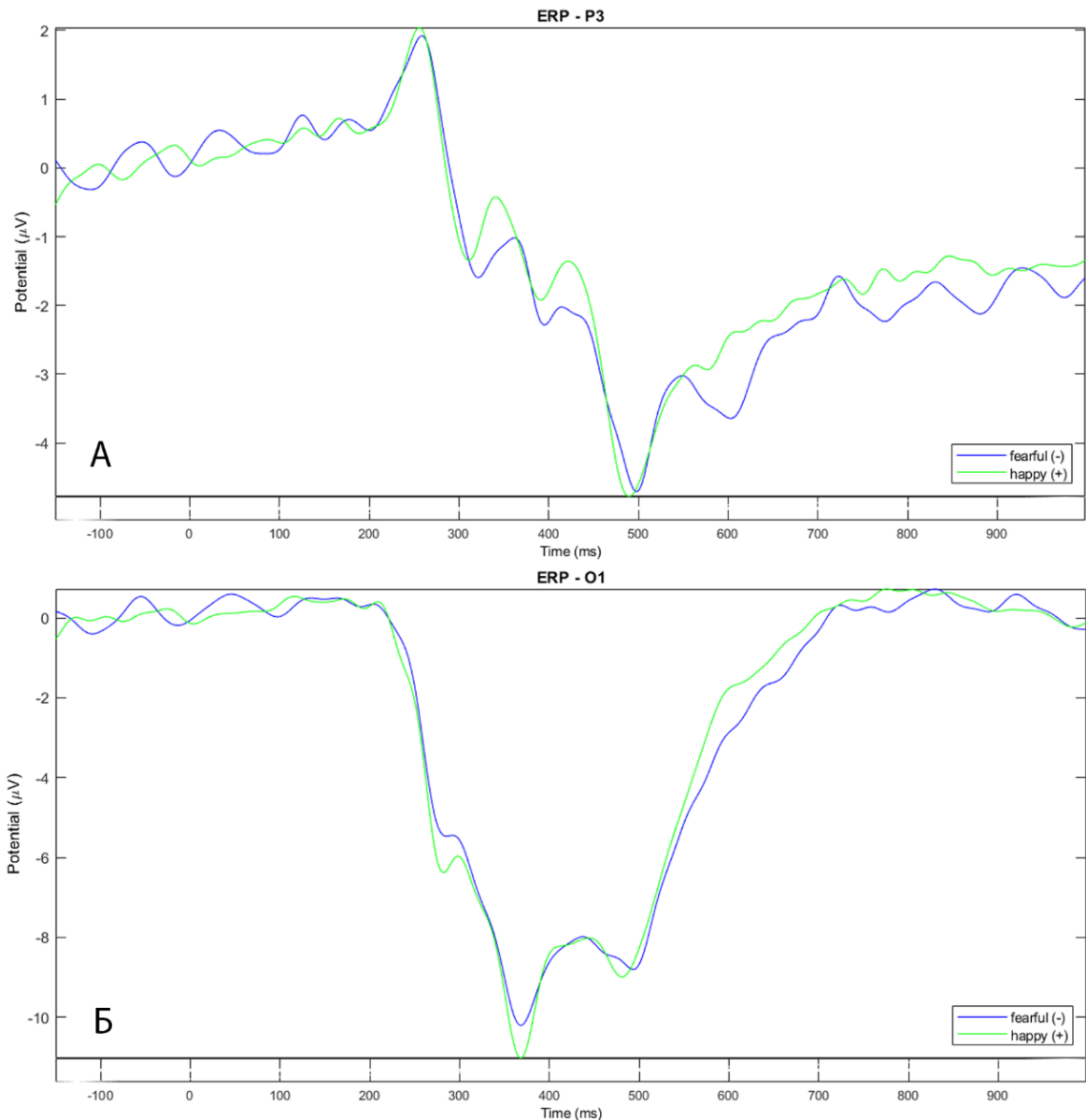
R3a був найбільш виражений в фронто-центральных ділянках (рис. 3.12). В половині відведень спостерігалось посилення даного компонента для наляканих облич; в іншій половині значення амплітуди були подібними або вищими в реакціях на щасливі обличчя. Проте різниця не перевищувала значення 0,2 мкВ.

EPN спостерігався в потилично-скроневиx регіонах. Даний компонент досягав свого піку близько 280 мс в потиличних ділянках та близько 300 мс в скроневиx (рис. 3.13). Для щасливих облич спостерігалися вищі значення амплітуди за виключенням відведення T5 (рис. 3.13). Найвищі показники

амплітуди спостерігались в окципітальних зонах ( $O1/O2 = 6,4$  мкВ); найбільша різниця (1 мкВ) була зареєстрована в зоні O1.



**Рис. 3.12.** Усереднені криві потенціалів, пов'язаних з подіями при часу демонстрації стимулів 100 мс у лівій середній фронтальній ділянці (А) та при часу демонстрації стимулів 500 мс у лівій задній скроневій зоні (Б). Реакції на налякані обличчя позначена синьою лінією, реакції на щасливі обличчя зеленою лінією,  $n=30$



**Рис. 3.13.** Усереднені криві потенціалів, пов'язаних з подіями при часу демонстрації стимулів 100 мс у лівій парієтальній ділянці (А) та при часу демонстрації стимулів 500 мс у лівій потиличній зоні (Б). Реакції на налякані обличчя позначена синьою лінією, реакції на щасливі обличчя зеленою лінією,  $n=30$

N400-подібна активність був зареєстрований в усіх ділянках, досягаючи свого максимуму в потиличних зонах (рис. 3.13). Аналогічно до попереднього порівняння частково спостерігалась подібність значень або посилення для щасливих (наприклад, потиличні відведення) чи наляканих (наприклад, скроневі відведення) виразів облич.

Пізній позитивний потенціал тривав 330-700 мс та був найбільш помітним в фронтальних, центральних та передніх скроневих зонах (рис. 3.12). За виключенням декількох відведень, спостерігалось невелике посилення LPP в реакціях на щасливі обличчя.

Порівняння реакцій на позитивно- та негативновалентні подразники аналогічно продемонстрували подібність латентних періодів, структури та амплітудних характеристик ППП для часу представлення 100 мс. Компоненти рання задня негативність та пізній позитивний потенціал загалом демонстрували посилення в реакціях на щасливі обличчя (рис. 3.12, 3.13). Проте статистично достовірних відмінностей для цього порівняння також не було зареєстровано.

## ВИСНОВКИ

1. Скорочення часу демонстрації стимулів від 500 мс до 100 мс створює очікувані труднощі для сприйняття та обробки емоційних виразів облич та не є достатнім для нормального перебігу даних процесів. На початкових етапах відмінність в структурі та амплітудних характеристик потенціалів, пов'язаних із подіями є незначною, проте демонструє збільшення кількості ресурсів уваги та посиленню первинної емоційної обробки. Пізніші ж етапи демонструють значнішу різницю, що проявляється в складнощах семантичного декодування, подальшої свідомої оцінки та процесах, пов'язаних із прийняттям рішень.

2. Порівняння реакції на щасливі та налякані вирази облич для кожного часу демонстрації окремо продемонстрували подібність структури та латентних періодів потенціалів, пов'язаних із подіями. Спостерігалось посилення ранньої задньої негативності та пізнього позитивного потенціалу для щасливих облич. Проте жодних статистично достовірних відмінностей не було знайдено.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Jack, R. E. and Schyns, P. G. (2015). The Human Face as a Dynamic Tool for Social Communication. *Current biology*, 25(14), pp. R621–R634.
2. Ding, R., Li, P., Wang, W. and Luo, W. (2017). Emotion Processing by ERP Combined with Development and Plasticity. *Neural plasticity*, 2017, pp. 5282670.
3. Shinkareva, S. V., Gao, C. and Wedell, D. (2020). Audiovisual Representations of Valence: a Cross-study Perspective. *Affective science*, 1(4), pp. 237–246.
4. Weber, C. E., Shinkareva, S. V., Kim, J., Gao, C. and Wedell, D. H. (2020). Evaluative Conditioning of Affective Valence. *Social Cognition*, 38(2), pp. 97–118.
5. Carroll, J. M., Yik, M. S., Russell, J. A. and Barrett, L. F. (1999). On the psychometric principles of affect. *Review of general psychology*, 3(1), pp. 14–22.
6. Norris, C. J., Gollan, J., Berntson, G. G. and Cacioppo, J. T. (2010). The current status of research on the structure of evaluative space. *Biological psychology*, 84(3), pp. 422–436.
7. Barrett, L. F. and Bliss-Moreau, E. (2009). Affect as a Psychological Primitive. *Advances in experimental social psychology*, 41, pp. 167–218.
8. Lindquist, K. A., Satpute, A. B., Wager, T. D., Weber, J. and Barrett, L. F. (2016). The Brain Basis of Positive and Negative Affect: Evidence from a Meta-Analysis of the Human Neuroimaging Literature. *Cerebral cortex*, 26(5), pp. 1910–1922.
9. Deckert, M., Schmoeger, M., Auff, E. and Willinger, U. (2020). Subjective emotional arousal: an explorative study on the role of gender, age, intensity, emotion regulation difficulties, depression and anxiety symptoms, and meta-emotion. *Psychological research*, 84(7), pp. 1857–1876.

10. Russell, J. A. (1994). Is there universal recognition of emotion from facial expression? A review of the cross-cultural studies. *Psychological bulletin*, 115(1), pp. 102.
11. Haj-Ali, H., Anderson, A. K. and Kron, A. (2020). Comparing three models of arousal in the human brain. *Social cognitive and affective neuroscience*, 15(1), pp. 1–11.
12. Kuppens, P., Tuerlinckx, F., Russell, J. A. and Barrett, L. F. (2013). The relation between valence and arousal in subjective experience. *Psychological bulletin*, 139(4), 917–940.
13. Ekman, P. and Cordaro, D. (2011). What is Meant by Calling Emotions Basic. *Emotion Review*, 3(4), pp. 364–370.
14. Izard C. E. (1994). Innate and universal facial expressions: evidence from developmental and cross-cultural research. *Psychological bulletin*, 115(2), pp. 288–299.
15. Adolphs R. (2003). Cognitive neuroscience of human social behaviour. *Nature reviews. Neuroscience*, 4(3), pp. 165–178.
16. Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of personality and social psychology*, 39(6), pp. 1161.
17. Gendron, M., Roberson, D., van der Vyver, J. M. and Barrett, L. F. (2014). Perceptions of emotion from facial expressions are not culturally universal: evidence from a remote culture. *Emotion*, 14(2), pp. 251–262.
18. Shiota, M. N. and Kalat, J. W. (2018). *Emotion*. 3th ed. New York: Oxford University Press.
19. Weisfeld, G. E. and Goetz, S. M. M. (2013). Applying evolutionary thinking to the study of emotion. *Behavioral sciences*, 3(3), pp. 388–407.
20. Schachter, S. and Singer, J. E. (1962). Cognitive, social, and physiological determinants of emotional state. *Psychological review*, 69, pp. 379–399.
21. Lazarus, R. S. (1982). Thoughts on the relations between emotion and cognition. *American psychologist*, 37(9), pp. 1019.

22. Bechara, A. and Damasio, A. R. (2005). The somatic marker hypothesis: A neural theory of economic decision. *Games and economic behavior*, 52(2), pp. 336-372.
23. Damasio, A. and Carvalho, G. B. (2013). The nature of feelings: evolutionary and neurobiological origins. *Nature reviews. Neuroscience*, 14(2), pp. 143–152.
24. Barrett, L. F. and Satpute, A. B. (2019). Historical pitfalls and new directions in the neuroscience of emotion. *Neuroscience letters*, 693, pp. 9–18.
25. Barrett, L. F. (2017). *How emotions are made: The secret life of the brain*. Boston: Pan Macmillan.
26. LeDoux, J. E. (2015). *Anxious: Using the Brain to Understand and Treat Fear and Anxiety*. New York: Penguin Boks.
27. LeDoux, J. E. (2017). Semantics, Surplus Meaning, and the Science of Fear. *Trends in cognitive sciences*, 21(5), pp. 303–306.
28. Bernstein, M. and Yovel, G. (2015). Two neural pathways of face processing: A critical evaluation of current models. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 55, pp. 536–546.
29. Haxby, J. V., Hoffman, E. A. and Gobbini, M. I. (2000). The distributed human neural system for face perception. *Trends in cognitive sciences*, 4(6), pp. 223–233.
30. O'Toole, A. J., Roark, D. A. and Abdi, H. (2002). Recognizing moving faces: a psychological and neural synthesis. *Trends in cognitive sciences*, 6(6), pp. 261–266.
31. Bernstein, M., Erez, Y., Blank, I. and Yovel, G. (2018). An Integrated Neural Framework for Dynamic and Static Face Processing. *Scientific reports*, 8(1), pp. 7036.
32. Celeghin, A., Galetto, V., Tamietto, M. and Zettin, M. (2019). Emotion Recognition in Low-Spatial Frequencies Is Partly Preserved following Traumatic Brain Injury. *BioMed research international*, 2019, pp. 9562935.

33. Tamietto, M. and Morrone, M. C. (2016). Visual plasticity: blindsight bridges anatomy and function in the visual system. *Current Biology*, 26(2), pp. R70-R73.
34. Mendez-Bertolo, C., Moratti, S., Toledano, R., Lopez-Sosa, F., Martínez-Alvarez, R., Mah, Y. H., Vuilleumier, P., Gil-Nagel, A. and Strange, B. A. (2016). A fast pathway for fear in human amygdala. *Nature neuroscience*, 19(8), pp. 1041–1049.
35. Pare, D., Quirk, G. J. and Ledoux, J. E. (2004). New vistas on amygdala networks in conditioned fear. *Journal of neurophysiology*, 92(1), pp. 1–9.
36. Adolphs, R., Gosselin, F., Buchanan, T. W., Tranel, D., Schyns, P. and Damasio, A. R. (2005). A mechanism for impaired fear recognition after amygdala damage. *Nature*, 433(7021), pp. 68–72.
37. Fusar-Poli, P., Placentino, A., Carletti, F., Landi, P., Allen, P., Surguladze, S., Benedetti, F., Abbamonte, M., Gasparotti, R., Barale, F., Perez, J., McGuire, P. and Politi, P. (2009). Functional atlas of emotional faces processing: a voxel-based meta-analysis of 105 functional magnetic resonance imaging studies. *Journal of psychiatry & neuroscience*, 34(6), pp. 418–432.
38. Adolphs, R. (2010). What does the amygdala contribute to social cognition?. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1191(1), pp. 42–61.
39. Harris, R. J., Young, A. W. and Andrews, T. J. (2014). Dynamic stimuli demonstrate a categorical representation of facial expression in the amygdala. *Neuropsychologia*, 56(100), pp. 47–52.
40. Philippi, C. L., Mehta, S., Grabowski, T., Adolphs, R. and Rudrauf, D. (2009). Damage to association fiber tracts impairs recognition of the facial expression of emotion. *The Journal of neuroscience*, 29(48), pp. 15089–15099.
41. Tippett, D. C., Godin, B. R., Oishi, K., Oishi, K., Davis, C., Gomez, Y., Trupe, L. A., Kim, E. H. and Hillis, A. E. (2018). Impaired Recognition of Emotional Faces after Stroke Involving Right Amygdala or Insula. *Seminars in speech and language*, 39(1), pp. 87–100.

42. Kropf, E., Syan, S. K., Minuzzi, L. and Frey, B. N. (2019). From anatomy to function: the role of the somatosensory cortex in emotional regulation. *Revista brasileira de psiquiatria*, 41(3), pp. 261–269.
43. Atkinson, A. P. and Adolphs, R. (2011). The neuropsychology of face perception: beyond simple dissociations and functional selectivity. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, 366(1571), pp. 1726–1738.
44. Pitcher, D., Garrido, L., Walsh, V. and Duchaine, B. C. (2008). Transcranial magnetic stimulation disrupts the perception and embodiment of facial expressions. *The Journal of neuroscience*, 28(36), pp. 8929–8933.
45. Kragel, P. A. and LaBar, K. S. (2015). Multivariate neural biomarkers of emotional states are categorically distinct. *Social cognitive and affective neuroscience*, 10(11), pp. 1437–1448.
46. Zahn, R., Moll, J., Krueger, F., Huey, E. D., Garrido, G. and Grafman, J. (2007). Social concepts are represented in the superior anterior temporal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 104(15), pp. 6430–6435.
47. Lindquist, K. A., Gendron, M., Barrett, L. F. and Dickerson, B. C. (2014). Emotion perception, but not affect perception, is impaired with semantic memory loss. *Emotion*, 14(2), pp. 375–387.
48. Jastorff, J., De Winter, F. L., Van den Stock, J., Vandenberghe, R., Giese, M. A. and Vandenbulcke, M. (2016). Functional dissociation between anterior temporal lobe and inferior frontal gyrus in the processing of dynamic body expressions: Insights from behavioral variant frontotemporal dementia. *Human brain mapping*, 37(12), pp. 4472–4486.
49. Heberlein, A. S., Padon, A. A., Gillihan, S. J., Farah, M. J. and Fellows, L. K. (2008). Ventromedial frontal lobe plays a critical role in facial emotion recognition. *Journal of cognitive neuroscience*, 20(4), pp. 721–733.

50. Tsuchida, A. and Fellows, L. K. (2012). Are you upset? Distinct roles for orbitofrontal and lateral prefrontal cortex in detecting and distinguishing facial expressions of emotion. *Cerebral cortex*, 22(12), pp. 2904–2912.
51. Spunt, R. P. and Adolphs, R. (2019). The neuroscience of understanding the emotions of others. *Neuroscience letters*, 693, pp. 44–48.
52. Luck, S. (2014). *An introduction to the event-related potential technique*. 2th ed. Cambridge: MIT.
53. Weinberg, A., Ferri, J. and Hajcak, G. (2013). Interactions between attention and emotion: Insights from the late positive potential. In: M. D. Robinson, E. Watkins and E. Harmon-Jones, eds. *Handbook of cognition and emotion*. New York: The Guilford Press. Ch.3, pp. 35–54.
54. Kappenman, E. S. and Luck, S. J. (2016). Best Practices for Event-Related Potential Research in Clinical Populations. *Biological psychiatry. Cognitive neuroscience and neuroimaging*, 1(2), pp. 110–115.
55. Moradi, A., Mehrinejad, S. A., Ghadiri, M. and Rezaei, F. (2017). Event-Related Potentials of Bottom-Up and Top-Down Processing of Emotional Faces. *Journal of Basic and Clinical Neuroscience*, 8(1), pp. 27-36.
56. Clark, V. P., Fan, S. and Hillyard, S. A. (1994). Identification of early visual evoked potential generators by retinotopic and topographic analyses. *Human brain mapping*, 2(3), pp. 170-187.
57. Valdés-Conroy, B., Aguado, L., Fernández-Cahill, M., Romero-Ferreiro, V. and Diéguez-Risco, T. (2014). Following the time course of face gender and expression processing: A task-dependent ERP study. *International Journal of Psychophysiology*, 92(2), pp. 59–66.
58. Acunzo, D., MacKenzie, G. and van Rossu, M. C. W. (2019). Spatial attention affects the early processing of neutral versus fearful faces when they are task irrelevant: a classifier study of the EEG C1 component. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 19(1), pp. 123–137.

59. Puce, A., McNeely, M. E., Berrebi, M. E., Thompson, J. C., Hardee, J. and Brefczynski-Lewis, J. (2013). Multiple faces elicit augmented neural activity. *Frontiers in human neuroscience*, 7, pp. 282.
60. Rossion, B. (2014). Understanding face perception by means of human electrophysiology. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(6), pp.310-318.
61. Neath-Tavares, K. N. and Itier, R. J. (2016). Neural processing of fearful and happy facial expressions during emotion-relevant and emotion-irrelevant tasks: A fixation-to-feature approach. *Biological psychology*, 119, pp. 122–140.
62. Ganis, G. and Schendan, H.E. (2008). Visual mental imagery and perception produce opposite adaptation effects on early brain potentials. *Neuroimage*, 42, pp.1714–1727
63. Rossion, B., Gauthier, I., Tarr, M. J., Despland, P., Bruyer, R., Linotte, S. and Crommelinck, M. (2000). The N170 occipito-temporal component is delayed and enhanced to inverted faces but not to inverted objects: an electrophysiological account of face-specific processes in the human brain. *Neuroreport*, 11(1), pp. 69–74.
64. Faja, S., Dawson, G., Aylward, E., Wijsman, E. M. and Webb, S. J. (2016). Early event-related potentials to emotional faces differ for adults with autism spectrum disorder and by serotonin transporter genotype. *Clinical Neurophysiology*, 127(6), pp. 2436–2447.
65. Almeida, P. R., Ferreira-Santos, F., Chaves, P. L., Paiva, T. O., Barbosa, F. and Marques-Teixeira, J. (2016). Perceived arousal of facial expressions of emotion modulates the N170, regardless of emotional category: Time domain and time–frequency dynamics. *International Journal of Psychophysiology*, 99, pp. 48–56.
66. Kawamoto, T., Nittono, H. and Ura, M. (2014). Social exclusion induces early-stage perceptual and behavioral changes in response to social cues. *Social Neuroscience*, 9(2), pp. 174–185.
67. Calvo, M. G. and Beltrán, D. (2014). Brain lateralization of holistic versus analytic processing of emotional facial expressions. *NeuroImage*, 92, pp. 237-247

68. Hinojosa, J. A., Mercado, F. and Carretié, L. (2015). N170 sensitivity to facial expression: A meta-analysis. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 55, pp. 498–509.
69. Joyce C., Rossion B. (2005). The face-sensitive N170 and VPP components manifest the same brain processes: the effect of reference electrode site. *Clin. Neurophysiol.*, 116, pp. 2613–2631
70. Luo, W., Feng, W., He, W., Wang, N. and Luo, Y., 2010. Three stages of facial expression processing: ERP study with rapid serial visual presentation. *NeuroImage*, 49(2), pp.1857-1867.
71. Olivares, E. I., Iglesias, J., Saavedra, C., Trujillo-Barreto, N. J. and Valdés-Sosa, M. (2015). Brain Signals of Face Processing as Revealed by Event-Related Potentials. *Behavioural neurology*, 2015, pp. 514361.
72. Williams, L., Palmer, D., Liddell, B., Song, L. and Gordon, E., 2006. The ‘when’ and ‘where’ of perceiving signals of threat versus non-threat. *NeuroImage*, 31(1), pp.458-467.
73. Rossignol, M., Philippot, P., Douilliez, C., Crommelinck, M. and Campanella, S., 2005. The perception of fearful and happy facial expression is modulated by anxiety: an event-related potential study. *Neuroscience Letters*, 377(2), pp.115-120.
74. Schweinberger, S. R. and Neumann, M. F. (2016). Repetition effects in human ERPs to faces. *Cortex*, 80, pp. 141–153.
75. Jaworska, N., Blier, P., Fusee, W. and Knott, V. (2012). The temporal electrocortical profile of emotive facial processing in depressed males and females and healthy controls. *Journal of Affective Disorders*, 136(3), pp. 1072–1081.
76. Aldunate, N., López, V. and Bosman, C. A. (2018). Early Influence of Affective Context on Emotion Perception: EPN or Early-N400?. *Frontiers in neuroscience*, 12, pp. 708.

77. Calvo, M. G. and Beltrán, D. (2013). Recognition advantage of happy faces: tracing the neurocognitive processes. *Neuropsychologia*, 51(11), pp. 2051-2061.
78. Rellecke, J., Sommer, W. and Schacht, A. (2012). Does processing of emotional facial expressions depend on intention? Time-resolved evidence from event-related brain potentials. *Biol. Psychol.* 90 (1), pp. 23–32
79. Smith, E., Weinberg, A., Moran, T., Hajcak, G., 2013. Electro cortical responses to NIMSTIM facial expressions of emotion. *Int. J. Psychophysiol.* 88 (1), pp. 17–25
80. Alzueta, E., Melcon, M., Poch, C. and Capilla, A. (2019). Is your own face more than a highly familiar face? *Biological Psychology*, 142, pp. 100–107.
81. Heisz, J., Shedden, J. and McIntosh, A. (2012). Relating brain signal variability to knowledge representation. *NeuroImage*, 63(3), pp. 1384-1392.
82. Hashemi, A., Pachai, M. V., Bennett, P. J. and Sekuler, A. B. (2019). The role of horizontal facial structure on the N170 and N250. *Vision Research*, 157, pp. 12–23.
83. Herzmann, G. (2016). Increased N250 amplitudes for other-race faces reflect more effortful processing at the individual level. *International Journal of Psychophysiology*, 105, pp. 57-65.
84. Langeslag, S. J., Morgan, H. M., Jackson, M. C., Linden, D. E. and Van Strien, J. W. (2009). Electrophysiological correlates of improved short-term memory for emotional faces. *Neuropsychologia*, 47(3), pp. 887–896.
85. Hajcak, G. and Foti, D. (2020). Significance? & Significance! Empirical, methodological, and theoretical connections between the late positive potential and P300 as neural responses to stimulus significance: An integrative review. *Psychophysiology*, 57(7), pp. e13570.
86. Liu, Y., Huang, H., McGinnis-Deweese, M., Keil, A. and Ding, M. (2012). Neural substrate of the late positive potential in emotional processing. *The Journal of neuroscience*, 32(42), pp. 14563–14572.

87. Brown, S. B., van Steenbergen, H., Band, G. P., de Rover, M. and Nieuwenhuis, S. (2012). Functional significance of the emotion-related late positive potential. *Frontiers in human neuroscience*, 6, pp. 33.
88. Bublatzky, F., Gerdes, A. B. M., White, A. J., Riemer, M. and Alpers, G. W. (2014). Social and emotional relevance in face processing: happy faces of future interaction partners enhance the late positive potential. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8.
89. Kulke, L. (2019). Neural Mechanisms of Overt Attention Shifts to Emotional Faces. *Neuroscience*, 418, pp. 59–68.
90. daSilva, E. B., Crager, K. and Puce, A. (2016). On dissociating the neural time course of the processing of positive emotions. *Neuropsychologia*, 83, pp. 123–137.
91. Debruille, J., Brodeur, M. and Hess, U. (2011). Assessing the way people look to judge their intentions. *Emotion*, 11(3), pp. 533-543.
92. Klem, G. H., Lüders, H. O., Jasper, H. H. and Elger, C. (1999). The ten-twenty electrode system of the International Federation. The International Federation of Clinical Neurophysiology. *Electroencephalography and clinical neurophysiology. Supplement*, 52, pp. 3-6.
93. Lundqvist, D., Flykt, A. and Öhman, A. (1998). The Karolinska Directed Emotional Faces - KDEF, CD ROM from Department of Clinical Neuroscience, Psychology section, Karolinska Institutet.
94. Ebner, N. C., Riediger, M. and Lindenberger, U. (2010). FACES--a database of facial expressions in young, middle-aged, and older women and men: development and validation. *Behavior research methods*, 42(1), pp. 351–362.
95. Borra, D. and Magosso, E. (2021). Deep learning-based EEG analysis: investigating P3 ERP components. *Journal of integrative neuroscience*, 20(4), pp. 791–811.
96. Huang, W. J., Chen, W. W. and Zhang, X. (2015). The neurophysiology of P 300--an integrated review. *European review for medical and pharmacological sciences*, 19(8), pp. 1480–1488.

97. van Dinteren, R., Arns, M., Jongsma, M. L. and Kessels, R. P. (2014). P300 development across the lifespan: a systematic review and meta-analysis. *PloS one*, 9(2), pp. e87347.
98. Polich, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clinical neurophysiology*, 118(10), pp. 2128–2148.
99. Feng, W., Luo, W., Liao, Y., Wang, N., Gan, T. and Luo, Y. J. (2009). Human brain responsivity to different intensities of masked fearful eye whites: an ERP study. *Brain research*, 1286, pp. 147–154.
100. Wronka, E., Kaiser, J. and Coenen, A. M. (2012). Neural generators of the auditory evoked potential components P3a and P3b. *Acta neurobiologiae experimentalis*, 72(1), pp. 51–64.
101. Knight, R. T., Grabowecky, M., Scabini, D. (1995) Role of human prefrontal cortex in attention control. *Adv. Neurol.*, 66, pp. 21–34.
102. Ford, J. M., Sullivan, E. V., Marsh, L., White, P. M., Lim, K. O. and Pfefferbaum, A. (1994). The relationship between P300 amplitude and regional gray matter volumes depends upon the attentional system engaged. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 90(3), pp. 214–228.
103. Halgren, E., Baudena, P., Clarke, J. M., Heit, G., Marinkovic, K., Devaux, B., Vignal, J. P. and Biraben, A. (1995). Intracerebral potentials to rare target and distractor auditory and visual stimuli. II. Medial, lateral and posterior temporal lobe. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 94(4), pp. 229–250.
104. Knight, R.T. (1996) Contribution of human hippocampal region to novelty detection. *Nature*, 383, pp. 256–259.
105. Riggins, T. and Scott, L. S. (2020). P300 development from infancy to adolescence. *Psychophysiology*, 57(7), pp. e13346.
106. Schupp, H. T., Flaisch, T., Stockburger, J. and Junghöfer, M. (2006). Emotion and attention: event-related brain potential studies. *Progress in brain research*, 156, pp. 31–51.

107. Olofsson, J. K., Nordin, S., Sequeira, H. and Polich, J. (2008). Affective picture processing: an integrative review of ERP findings. *Biological psychology*, 77(3), pp. 247–265.
108. Yoon, S., Shim, M., Kim, H. S. and Lee, S. H. (2016). Enhanced Early Posterior Negativity to Fearful Faces in Patients with Anxiety Disorder. *Brain topography*, 29(2), pp. 262–272.
109. Schupp, H. T., Öhman, A., Junghöfer, M., Weike, A. I., Stockburger, J. and Hamm, A. O. (2004). The Facilitated Processing of Threatening Faces: An ERP Analysis. *Emotion*, 4(2), pp. 189–200.
110. Steppacher, I., Schindler, S. and Kissler, J. (2016). Higher, faster, worse? An event-related potentials study of affective picture processing in migraine. *Cephalalgia*, 36(3), pp. 249–257.
111. Schacht, A. and Sommer, W. (2009). Emotions in word and face processing: early and late cortical responses. *Brain and cognition*, 69(3), pp. 538–550.
112. Davis, J. D., Winkielman, P. and Coulson, S. (2017). Sensorimotor simulation and emotion processing: Impairing facial action increases semantic retrieval demands. *Cognitive, affective & behavioral neuroscience*, 17(3), pp. 652–664.
113. Jiménez-Ortega, L., Badaya, E., Hernández-Gutiérrez, D., Silvera, M., Espuny, J., Garcia, J. S., Fondevila, S., Muñoz, F. M., Casado, P. and Martín-Loeches, M. (2020). Effects of reader's facial expression on syntactic processing: A brain potential study. *Brain research*, 1736, pp. 146745.
114. Eimer, M. (2000). Event-related brain potentials distinguish processing stages involved in face perception and recognition. *Clinical Neurophysiology*, 111, pp. 694–705.
115. Paulmann, S. and Pell, M. D. (2009). Facial expression decoding as a function of emotional meaning status: ERP evidence. *NeuroReport*, 20(18), pp. 1603–1608.
116. Schweinberger, S. R. and Burton, A. M. (2003). Covert recognition and the neural system for face processing. *Cortex*, 39, pp. 9–30.

117. Kutas, M. and Federmeier, K. D. (2011). Thirty years and counting: finding meaning in the N400 component of the event-related brain potential (ERP). *Annual review of psychology*, 62, pp. 621–647.
118. MacNamara, A., Joyner, K. and Klawohn, J. (2022). Event-related potential studies of emotion regulation: A review of recent progress and future directions. *International journal of psychophysiology*, 176, pp. 73–88.
119. Hajcak, G., Dunning, J. P. and Foti, D. (2007). Neural response to emotional pictures is unaffected by concurrent task difficulty: an event-related potential study. *Behavioral neuroscience*, 121(6), pp. 1156–1162.
120. de Rover, M., Brown, S. B., Boot, N., Hajcak, G., van Noorden, M. S., van der Wee, N. J. and Nieuwenhuis, S. (2012). Beta receptor-mediated modulation of the late positive potential in humans. *Psychopharmacology*, 219(4), pp. 971–979.
121. Codispoti, M., Ferrari, V. and Bradley, M. M. (2007). Repetition and event-related potentials: distinguishing early and late processes in affective picture perception. *Journal of cognitive neuroscience*, 19(4), pp. 577-586.
122. Hajcak, G., Anderson, B. S., Arana, A., Borckardt, J., Takacs, I., George, M. S. and Nahas, Z. (2010). Dorsolateral prefrontal cortex stimulation modulates electrocortical measures of visual attention: evidence from direct bilateral epidural cortical stimulation in treatment-resistant mood disorder. *Neuroscience*, 170(1), pp. 281-288.
123. Moratti, S., Saugar, C. and Strange, B. A. (2011). Prefrontal-occipitoparietal coupling underlies late latency human neuronal responses to emotion. *The Journal of neuroscience*, 31(47), pp. 17278–17286.