

Дипольный анализ организации ориентационной чувствительности зрительной системы человека

Крылова М.А., Изъюров И.В., Киселева А.Б., Герасименко Н.Ю., Славуцкая А.В., Михайлова Е.С.
Институт Высшей Нервной Деятельности и Нейрофизиологии РАН

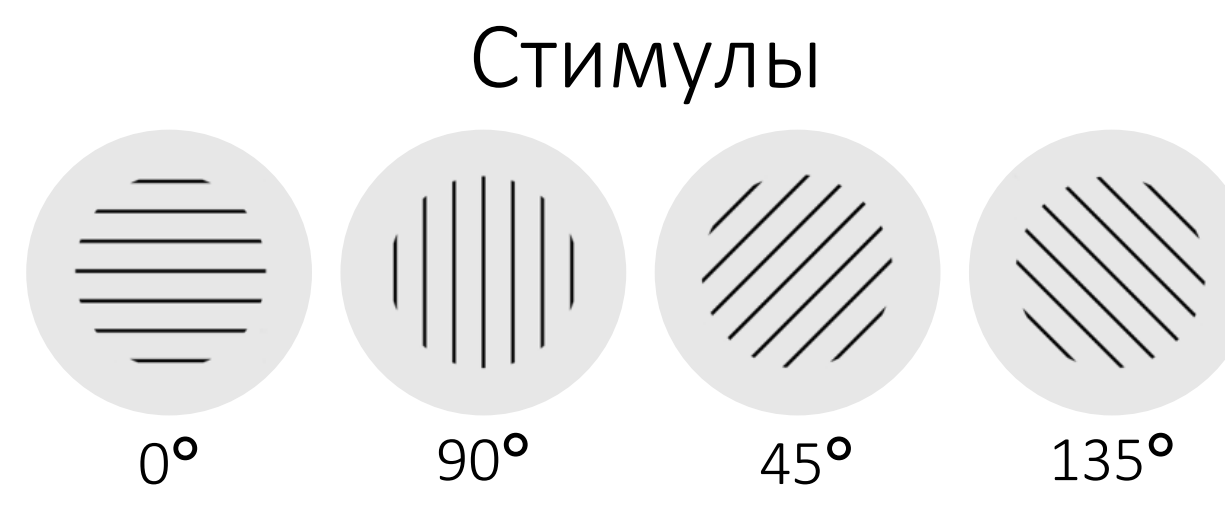


Введение

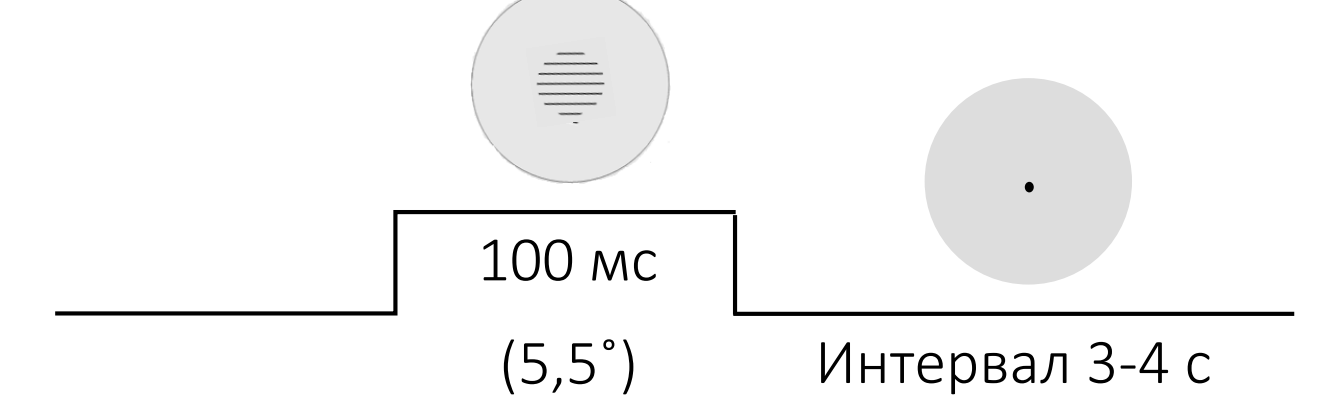
Зрительная система человека более чувствительна к вертикальным и горизонтальным ориентациям, чем к наклонным – «oblique» эффект (Appelle, 1972). Предполагается, что нейронные механизмы восприятия базовых и наклонных линий также различны. Известно, что мужчины и женщины различаются по способности определять ориентацию линий (тест Бентона), но механизм этих различий до сих пор остается неясным. В работе мы исследовали возможные нейронные механизмы ранних стадий ориентационной чувствительности человека и их особенности у мужчин и женщин. Использовали метод вызванных потенциалов (ВП) и моделирование распределенных дипольных источников компонентов ВП.

Эксперимент

В эксперименте участвовал 41 испытуемый (20 мужчин) с нормальным зрением (мужчины - 23.3±0.9 лет; женщины - 22.2±0.8 лет). Испытуемых просили определить ориентацию линий в решетках (0°, 90°, 45° и 135°) и нажать на соответствующую клавишу клавиатуры.



Временная схема эксперимента

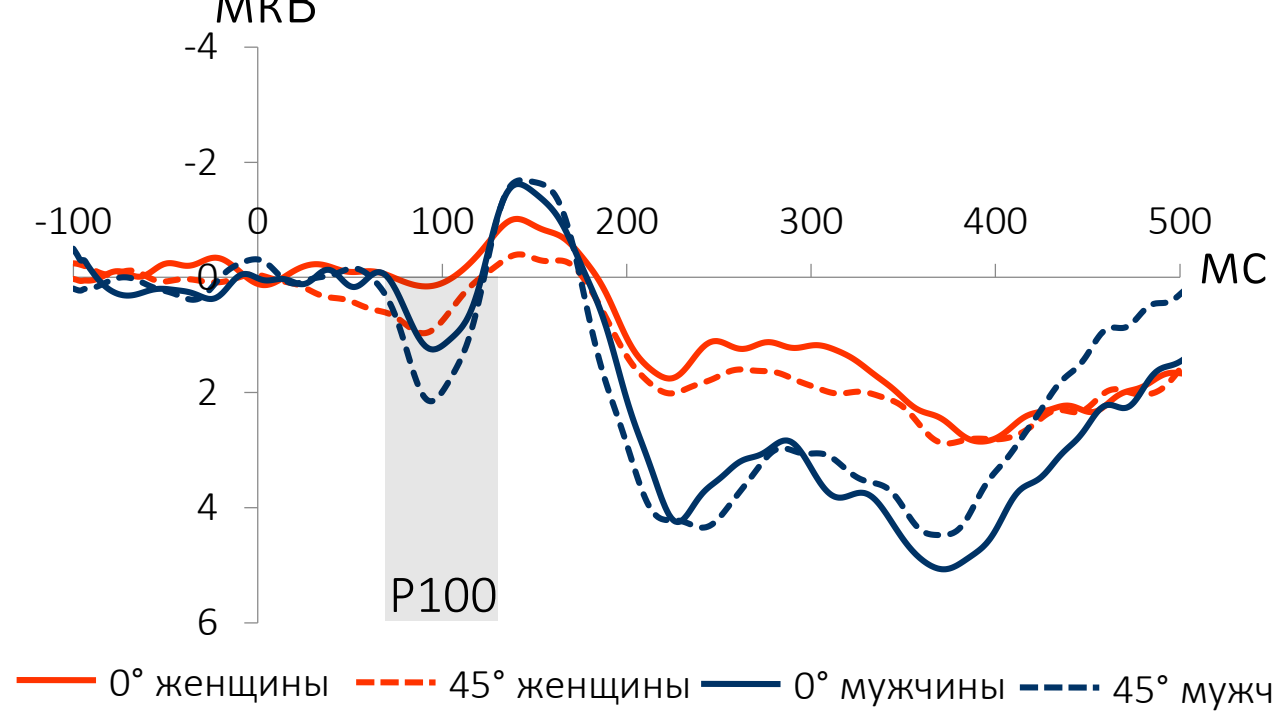


Предъявление стимулов и регистрацию ответов проводили с помощью E-Prime 2.0 (Psychology Software Tools, Inc., USA). ЭЭГ высокой плотности (128-каналов) регистрировали на системе Geodesics (Electrical Geodesics Inc., USA).

Анализ амплитуд компонентов ВП

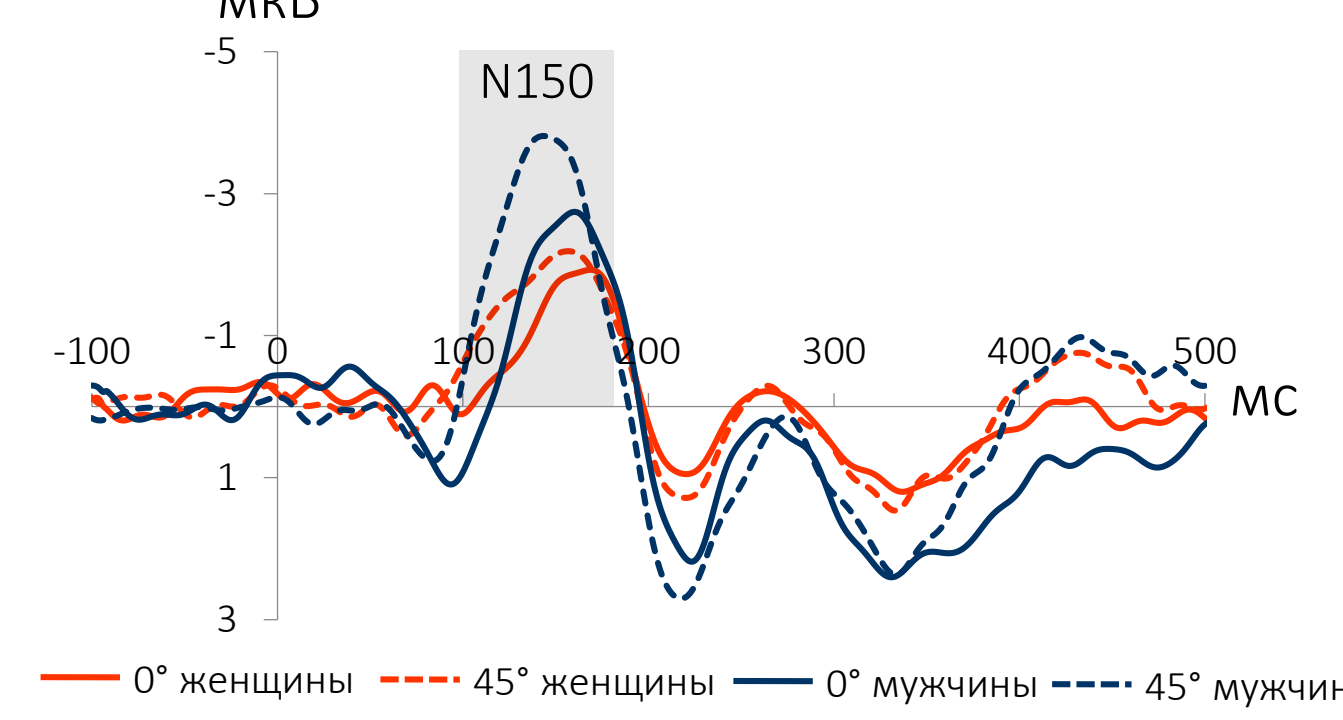
Во временном окне компонентов P100 (70-130 мс) и N150 (100-190 мс) максимум активности наблюдается в затылочно-теменно-височных областях. Амплитуды P100 и N150 выше для наклонных ориентаций, чем для базовых («инвертированный» oblique эффект). Амплитуда компонентов выше у мужчин, чем у женщин.

92 электрод (P4)



Компонент ВП	Группа электродов	Ориентация	Ориентация x Полушарие x Пол
P100	Теменная	F _{3,93} =2.88 p<0.05	F _{3,93} =2.98 p<0.05

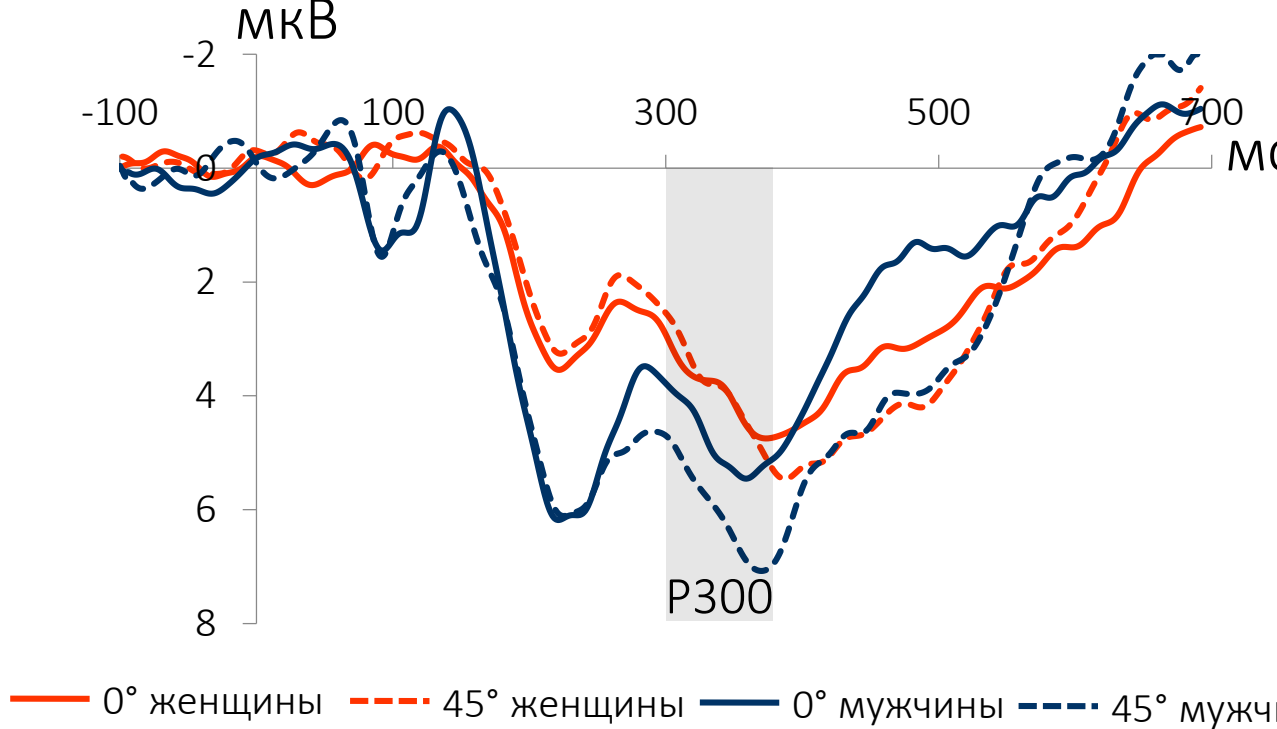
83 электрод (O2)



Компонент ВП	Группа электродов	Ориентация	Ориентация x Полушарие	Ориентация x Пол
N150	Затылочная	F _{3,99} =8.36 p<0.001	F _{3,99} =5.07 p<0.01	F _{3,99} =3.63 p<0.05
	Височная	F _{3,99} =5.70 p<0.01	F _{3,99} =2.95 p<0.05	F _{3,99} =5.05 p<0.01

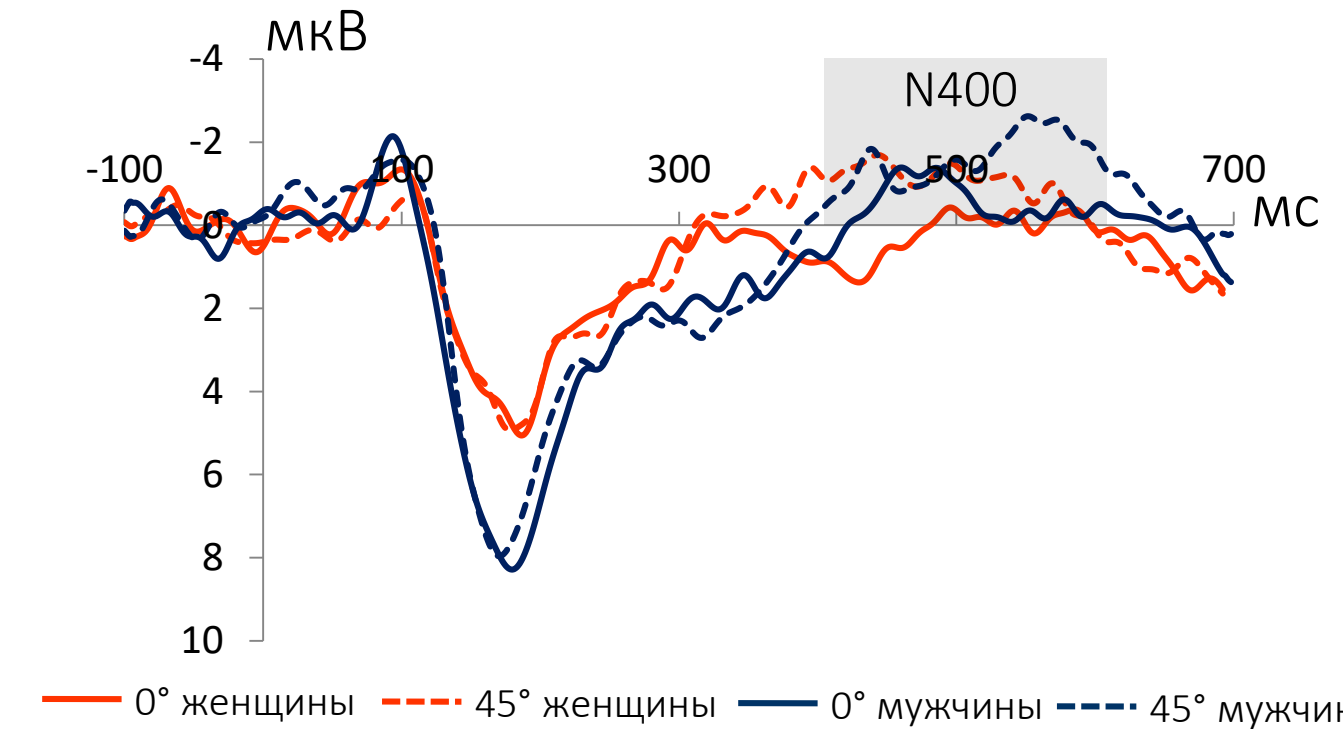
Во временном окне компонентов P300 (300-370 мс) и N400 (400-600 мс) максимум активности наблюдается в центральных и фронтальных группах электродов соответственно. Амплитуды P300 и N400 выше в ответах на базовые ориентации («классический» oblique эффект). Амплитуда P300 выше у мужчин, чем у женщин.

61 электрод



Компонент ВП	Группа электродов	Ориентация	Ориентация x Полушарие	Пол
P300	Медиальная центральная	F _{3,96} =7.28 p<0.001	F _{3,96} =8.24 p<0.001	F _{1,32} =7.39 p=0.01
	Латеральная центральная	F _{3,96} =7.27 p<0.001	F _{3,96} =6.52 p<0.001	F _{1,32} =6.72 p<0.01

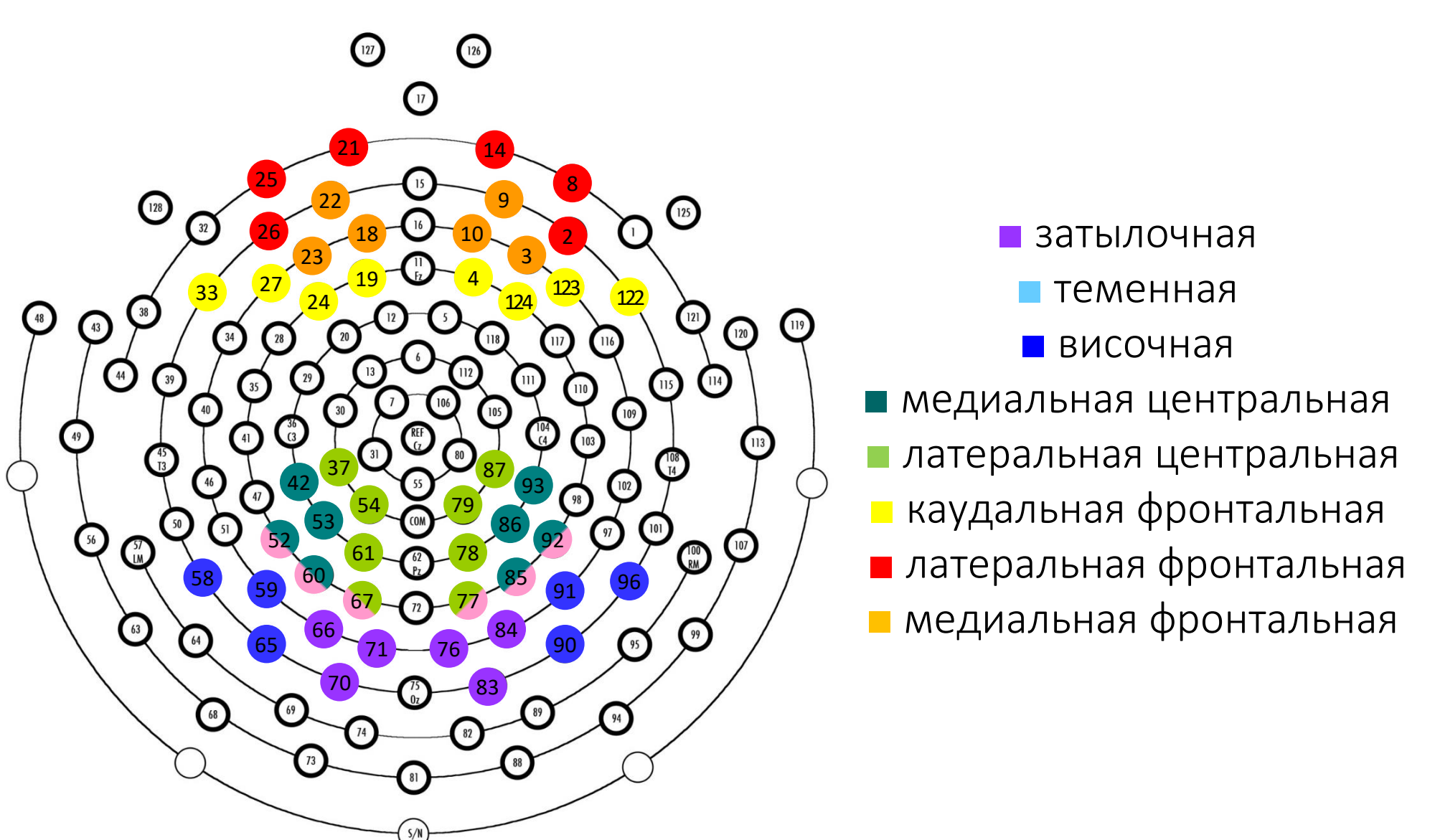
9 электрод (FP2)



Компонент ВП	Группа электродов	Ориентация	Ориентация x Полушарие	Ориентация x Полушарие x Пол
N400	Латеральная фронтальная	F _{3,96} =7.74 p<0.001	F _{3,99} =5.07 p<0.01	F _{3,99} =3.63 p<0.05
	Медиальная фронтальная	F _{3,96} =3.13 p<0.05	F _{3,96} =4.14 p<0.01	F _{3,99} =5.05 p<0.01
	Каудальная фронтальная	F _{3,96} =6.45 p<0.001	F _{3,96} =2.98 p<0.05	F _{3,96} =2.98 p<0.05

Амплитуду пиков компонентов ВП на каждую из четырех ориентаций при правильных ответах измеряли в восьми группах электродов (обозначены цветами на схеме ниже).

Группы электродов

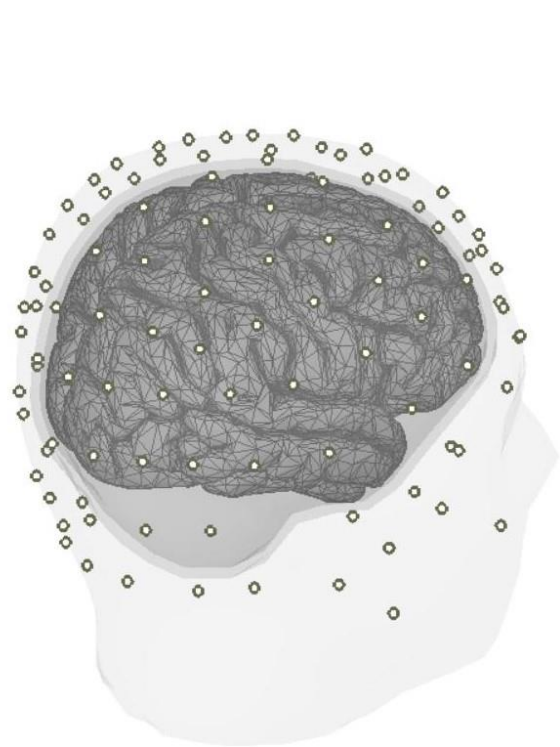


Статистический анализ значений амплитуд компонентов ВП проводили с использованием дисперсионного анализа ANOVA RM с коррекцией Гринхауса-Гейссера. При внутригрупповых post-hoc сопоставлениях использовали тест Ньюмена-Кейлса на множественные сравнения; для межгрупповых сравнений - критерий Стьюдента.

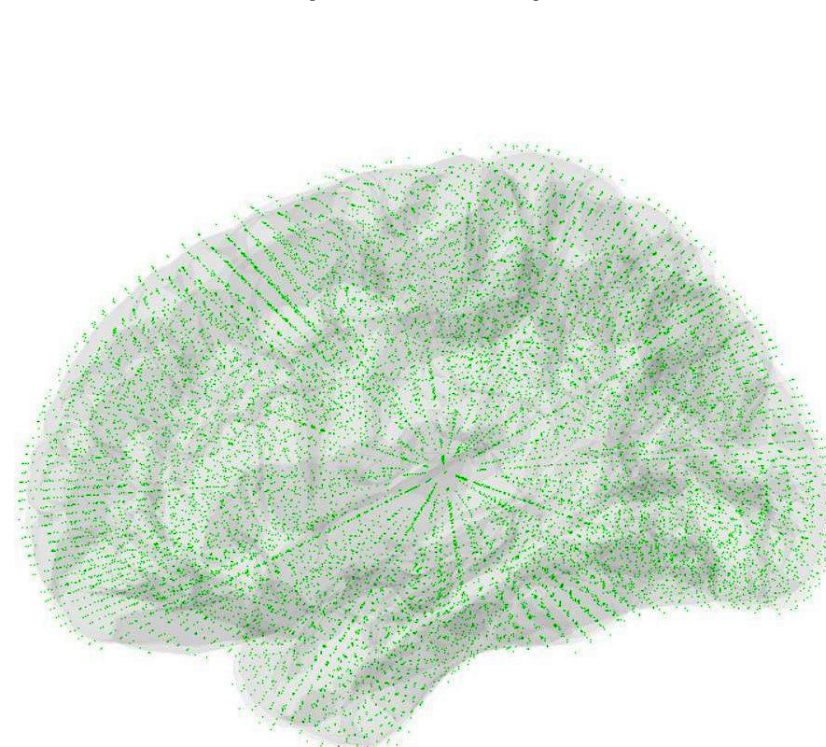
Построение распределенных дипольных источников

Моделирование распределенных дипольных источников проводили отдельно для усредненных по группам мужчин и женщин ВП в пакете Brainstorm 3.2. (Biomedical Imaging Group) программной среды MatLab. Использовали метод взвешенных минимальных нормальных оценок mMNE, стандартную анатомию ICBM 152 (Fonov et al., 2011), модель головы OpenMEEG BEM и стандартное положение электродов.

Модель головы

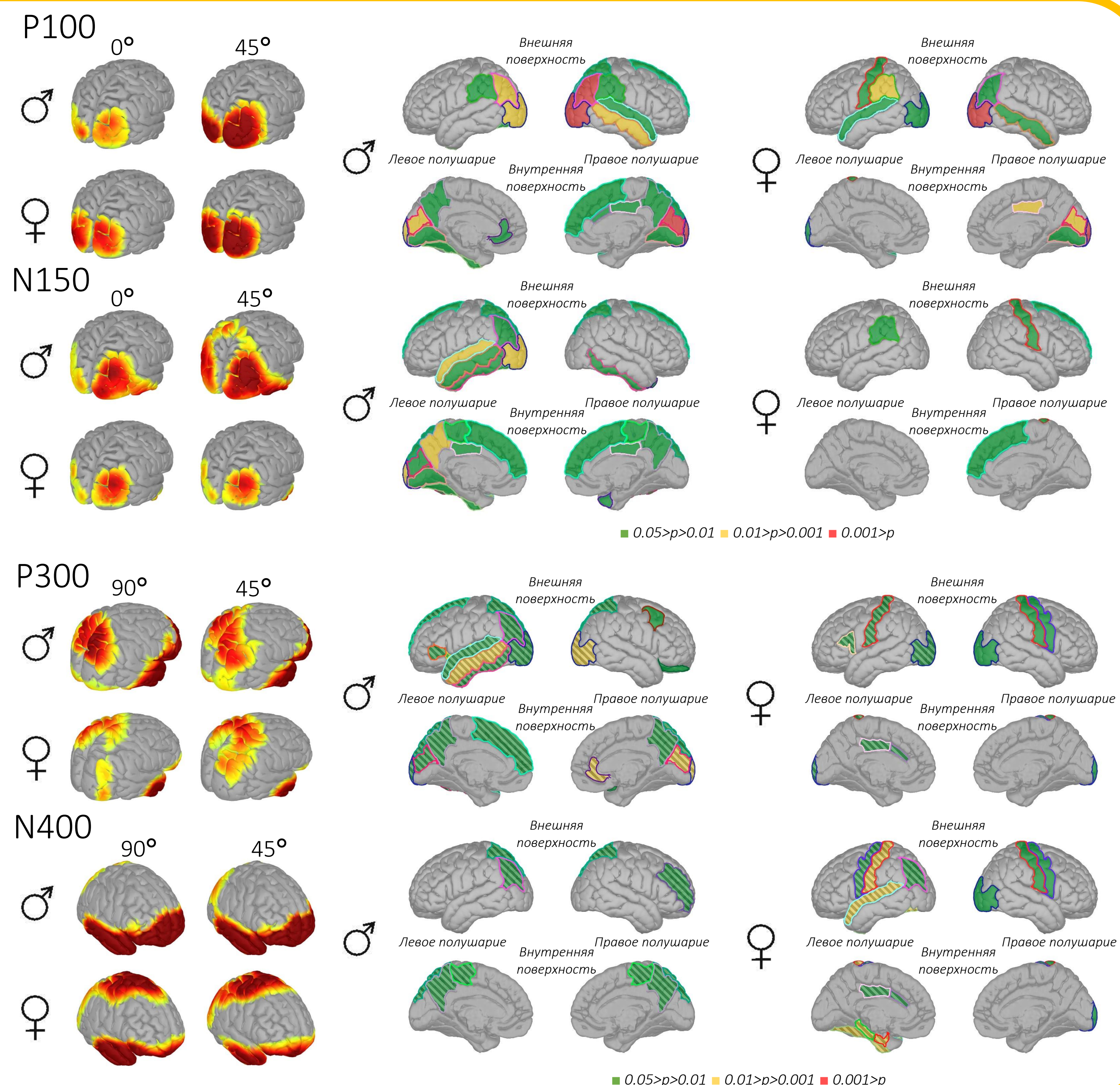


Матрица узлов



Для выявления разницы активации при ответах на разные ориентации были проведены внутригрупповые сравнения с использованием двустороннего t-критерия Стьюдента с поправкой Бонферрони на множественные сравнения в пакете SPM8 (The FIL methods group) программной среды MatLab.

Во временном окне компонентов P100 и N150 плотность тока дипольных источников выше в ответах на наклонные ориентации, чем на базовые - «инвертированный» oblique эффект. Активация выше в правом полушарии. У мужчин область локализации дипольных источников шире, чем у женщин, и в период N150 дополнительно захватывает правую теменную область.



Для P300 и N400 плотность тока дипольных источников выше в ответах на базовые ориентации - «классический» oblique эффект. Во временном окне P300 источники имеют широкую локализацию с преобладанием в теменной и височных областях. В окне N400 источники локализуются в височных и фронтальных областях, наблюдается «классический» oblique эффект.

Заключение

По данным анализа распределенных дипольных источников ВП во временном окне 0-700 мс описана динамическая топография процесса восприятия базовых и наклонных ориентаций. В ранний сенсорный этап (0-200 мс) вовлечены преимущественно специфические зрительные области. Обнаружен инвертированный oblique эффект – большая активация на наклонные линии. Во более поздний период (300-700 мс) фокус активации смещается во центральные и фронтальные области, наблюдается классический oblique эффект. Показано, что у мужчин по сравнению с женщинами выше амплитуда компонентов ВП, шире область локализации их дипольных источников, в большей степени вовлечены височные и префронтальные области коры. Эти особенности переработки ориентационных характеристик среды могут быть одним из факторов половых различий зрительно-пространственного поведения. Полученные данные дополняют существующие представления о механизмах ориентационной чувствительности.