

Шестюк И.А., Клышевский С.П.

РОЛЬ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОФИЛАКТИКЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТ-ИНДУЦИРОВАННЫХ ОСЛОЖНЕНИЙ У РАНЕНЫХ С ИМПЛАНТАТАМИ ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВОЙ ОБЛАСТИ

Научный руководитель: доц. Пландовский В. А.

Кафедра военно-полевой хирургии

Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск.

Актуальность. В структуре боевой травмы челюстно-лицевая область занимает значительный удельный вес, а современные методы оказания специализированной помощи на этапах медицинской эвакуации предусматривают широкое применение титановых мини-пластин и эндопротезов височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС) для остеосинтеза и замещения дефектов. В то же время в полевых условиях раненые и медицинский персонал неизбежно подвергаются воздействию электромагнитного излучения (ЭМИ) от носимых источников (средств связи, навигации). Прямое измерение поглощённой энергии в тканях головы невозможно по этическим причинам, а физические фантомы не учитывают индивидуальную анатомию и наличие металлических имплантатов. При этом титановые конструкции, выступая вторичными излучателями, способны локально повышать удельный коэффициент поглощения энергии (SAR) до значений, превышающих безопасный порог. Кроме того, зоны высокой напряжённости поля могут проецироваться на околоушную железу и ветви лицевого нерва, что в условиях ранения создаёт дополнительные риски функциональных нарушений и осложнений в послеоперационном период

Цель: обосновать применение численного моделирования для количественной оценки и профилактики ЭМИ-эффектов у раненых с имплантатами челюстно-лицевой области.

Материалы и методы. Метод конечных интегралов, метод конечных элементов, численный 3D-фантом человека на основе МРТ/КТ-снимков с шагом 1–3 мм.

Результаты и их обсуждение. Численное моделирование показало, что наличие титановых имплантатов в челюстно-лицевой области у раненого приводит к перераспределению электромагнитного поля с формированием локальных «горячих точек». Плотность тока в прилегающей костной ткани возрастает в 3–5 раз, а напряжённость электрического поля у края имплантата достигает 138 В/м против 61 В/м на модели без металлоконструкции. Пиковый SAR в объёме 1 г ткани у края мини-пластины составляет 4,9 Вт/кг, что более чем вдвое превышает безопасный порог международного стандарта ICNIRP (2 Вт/кг). Эндопротезы ВНЧС, выполненные из гетерогенных материалов, создают градиент температуры на границе «металл–кость» в пределах 1–2 °С, что в условиях воспалённой послеоперационной раны может приводить к замедлению регенерации или некрозу тканей. На частоте 2,4 ГГц глубина проникновения поля в околоушную слюнную железу достигает 15–18 мм, а SAR в области её протока способен превышать безопасный для секреторных клеток уровень. Участки с напряжённостью электрического поля $E > 60$ В/м (порог возбуждения нервных мембран) при проецировании на ветви лицевого нерва создают риск непроизвольных сокращений мимической мускулатуры и послеоперационных парезов, что особенно неблагоприятно у раненого с уже имеющимся дефицитом функции. Параметрическое моделирование позволяет для каждого клинического случая рассчитать «красную зону» – дистанцию от источника излучения, мощность и частоту, при которых стимулирующий остеогенез тепловой эффект переходит в деструктивный. На основании этих данных могут быть сформулированы тактические рекомендации для этапов медицинской эвакуации, например, временный запрет на использование Bluetooth-гарнитуры на стороне операции у раненого в течение определённого срока после остеосинтеза.

Выводы. Численное моделирование позволяет прогнозировать зоны термического риска у раненого с металлоконструкциями и обосновывать безопасные режимы использования носимых ЭМИ-устройств на этапах медицинской эвакуации, что способствует снижению электромагнит-индуцированных осложнений.