



Компьютерное моделирование и лазерные технологии в реабилитации пациентов при травме средней зоны лица

Стучилов В.А. • Никитин А.А. • Секирин А.Б. • Филатова Е.В. • Ларионов К.С. • Гришин А.С. • Кокорев В.Ю. • Рябцева А.А.

Стучилов Владимир Александрович – д-р мед. наук, профессор, гл. науч. сотр. отделения челюстно-лицевой хирургии¹
✉ 121119, г. Москва, ул. Плющиха, 42–214, Российская Федерация.
Тел.: +7 (916) 631 72 59.

E-mail: va-stuchilov@yandex.ru

Никитин Александр Александрович – д-р мед. наук, профессор, руководитель отделения челюстно-лицевой хирургии¹

Секирин Алексей Борисович – канд. мед. наук, руководитель отделения физиотерапии и реабилитации¹

Филатова Елена Владимировна – д-р мед. наук, профессор кафедры медицинской реабилитации и физиотерапии¹, заведующая отделением восстановительного лечения²

Ларионов Кирилл Сергеевич – канд. мед. наук, ст. науч. сотр. отделения физиотерапии и реабилитации¹

Гришин Алексей Сергеевич – врач отделения челюстно-лицевой хирургии³

Кокорев Василий Юрьевич – канд. мед. наук, врач офтальмологического отделения¹

Рябцева Алла Алексеевна – д-р мед. наук, профессор, руководитель офтальмологического отделения¹

Цель – определение характера повреждений структур опорно-мышечного аппарата глаза и глазницы, выработка алгоритма лазерной терапии для восстановления кровообращения в зоне повреждения орбиты и транскраниальной лазерной терапии для нормализации микроциркуляции во всех группах мышц челюстно-лицевой области.

Материал и методы. Проанализированы результаты обследования и лечения 75 больных с травмой средней зоны лица с использованием методов лазерной спектрофотометрии и компьютерного моделирования структур орбиты во фронтальной, сагиттальной и наклонных плоскостях с SSD-, MPR- и VRT-реконструкциями. При компьютерном моделировании применялось программное обеспечение Mimics (Materialise, Leuven, Бельгия). Для исследования микроциркуляции тканей орбитальной и челюстно-лицевой областей использовался комплекс Спектротест. При исследовании регистрировались концентрация кислорода в тканях (сатурация (StO₂)) и индекс объемного кровенаполнения сосудов микроциркуляторного русла (V_{кр}).

Результаты. Компьютерное моделирование позволило выделить следующие варианты повреждений опорно-мышечного аппарата глаза и глазницы: ущемление глазодвигательной мышцы у 60% больных, угловое смещение мышечного брюшка – 30%, мышечную контузию – 45%, гематомы орбитальной области – 18%, рубцовую деформацию опорно-мышечного аппарата глазницы – 40%. В раннем периоде

после травмы при повреждении стенок глазницы и верхнечелюстного синуса в микроциркуляторном русле V_{кр} снижался в среднем на 12,5±0,5% по сравнению с нормой, при этом на здоровой стороне объем микроциркуляции увеличивался в среднем на 28,5±0,1% по сравнению с нормой. В отдаленном периоде после репозиции костных отломков сохранялось перераспределение объема циркулирующей крови: повышение отмечено только у 10% больных. При тяжелых травмах и длительно существующих рубцовых деформациях локальные воздействия лазерного излучения увеличивали V_{кр} с двух сторон, но при этом сохранялись достоверно повышенные показатели StO₂ (до 25,0±0,6%), что характерно для нарушенной трофики тканей и в катамнезе не исключает развития воспалительных осложнений.

Заключение. Метод компьютерного моделирования наиболее информативен при исследовании повреждений опорно-мышечных структур глаза и глазницы и рекомендуется при проведении диагностики и составлении плана реабилитации больных с данной патологией. Метод лазерной спектрофотометрии позволяет проследить в динамике процесс восстановления микроциркуляции тканей в до- и послеоперационном периоде и во время проведения реабилитационных мероприятий.

Ключевые слова: лазерная терапия, травма, глазница, лазерная спектрофотометрия, компьютерное моделирование.

¹ ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского»; 129110, г. Москва, ул. Щепкина, 61/2, Российская Федерация

² Семейная медицинская клиника «Детство Плюс»; 124482, г. Москва, Зеленоград, Савелкинский проезд, 4, Российская Федерация

³ МУЗ «Районная больница № 2»; 143081, Московская обл., Одинцовский район, с. Перхушково, 2, Российская Федерация



Среди разновидностей травмы средней зоны лица повреждения орбиты встречаются в 23% случаев. Изучение повреждений структур глазницы в раннем, раннем отсроченном и отдаленном периодах после травмы, сопровождающихся поражением не только костных стенок, но и мягких тканей глазницы, имеет большое клиническое и прогностическое значение [1, 2, 3].

При повреждении орбиты у 89% больных отмечаются бинокулярное двоение, рестриктивное ограничение подвижности глазного яблока, патология мышц, повреждения стенок орбиты, дислокация глаза, наличие орбитальной гематомы, развитие отека клетчатки [4, 5, 6].

При проведении исследования были поставлены следующие задачи:

- проанализировать структурные повреждения опорно-мышечного аппарата глаза и глазницы с использованием компьютерного моделирования;
- оценить характер нарушений кровоснабжения в области повреждения у пациентов с травмой средней зоны лица по данным лазерной спектродетекции и разработать алгоритм выбора тактики лазерной терапии таких больных [7].

Материал и методы

Проведен анализ данных, содержащих результаты обследования и лечения 75 больных с повреждением орбитальной области. В ходе рентгенологического обследования пациентов выполнялось аксиальное или спиральное сканирование. При спиральном сканировании параметры были следующими: коллимация $16 \times 0,75$, толщина среза – 0,8 мм, инкремент – 0,4 мм. Параметры аксиального сканирования: коллимация $16 \times 0,75$, толщина среза – 1,5 мм, шаг стола – 1,5 мм. Полученные аксиальные изображения реформировались и оценивались во фронтальной, сагиттальной и наклонных плоскостях, также строились SSD-, MPR- и VRT-реконструкции.

Применение спиральной компьютерной томографии (СКТ) позволяет, избегая высокой дозы облучения, получать три проекции изображения: в коронарной плоскости, наклонной сагиттальной параллельно нижней прямой мышце глаза и аксиальной плоскости [8–12].

При СКТ-исследовании по промерам плотности сложно отличить посттравматические фиброзные изменения мягких тканей орбиты от плотности мышцы глаза и организованной гематомы. В настоящее время существует ряд методик

для определения объемов и размеров структур орбиты, использующих цифровые массивы данных компьютерной томографии и программное обеспечение для трехмерной визуализации [13]. В нашей практике применяется программное обеспечение Mimics (Materialise, Leuven, Бельгия). Высокая точность и достоверность данных, получаемых с помощью данной программы при использовании метода ручной сегментации (построение масок на основании денситометрической плотности по шкале Хаунсфилда), проверена экспериментально и клинически [14]. В клинике проводится компьютерное моделирование мышечных структур и жировой клетчатки глазницы с целью определения объема, а также линейных размеров нижней прямой мышцы здоровой и травмированной орбиты.

Далее из обработанных изображений при помощи встроенной в программу шкалы Хаунсфилда на основании алгоритма проекций с затененной поверхностью (англ. shaded surface display) производится выделение структур глазницы с дальнейшим построением трехмерной компьютерной модели в формате STL. Осуществляется индивидуальная оценка линейных размеров дефекта костной стенки орбиты, степени смещения отломков, положения отломков относительно зрительного нерва, глазного яблока, мышц и жировой клетчатки орбиты; определяется наличие ущемления глазодвигательных мышц костными отломками или устанавливается наличие рубцово-спаечного процесса между жировой клетчаткой, мышцей и костными стенками орбиты.

Характер нарушений микроциркуляции выявляется методом лазерной спектродетекции кожи подглазничной области с использованием комплекса Спектротест. При исследовании регистрируются концентрация кислорода в тканях



Рис. 1. «Взрывной наружу» (blow-out) перелом глазницы: **А** – компьютерное моделирование глазодвигательных мышц; дислокация нижней прямой мышцы в просвет верхнечелюстного синуса с кровоизлиянием в окружающую ее жировую клетчатку; **Б** – резкое ограничение подвижности глазного яблока книзу вследствие контузии нижней прямой глазодвигательной мышцы

Рис. 2. Субконъюнктивальная геморрагия, гифема, периорбитальная гематома



Рис. 3. Диплопия и ограничение подвижности глазного яблока справа при взгляде: **А** – вверх; **Б** – в наружную сторону

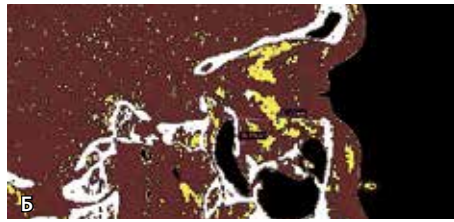
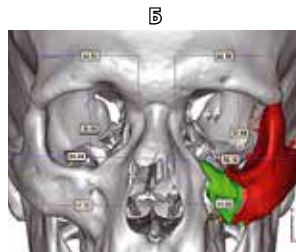


Рис. 4. Диплопия и ограничение подвижности глазного яблока в раннем периоде после травмы: **А** – ограничение подвижности глазного яблока при взгляде кверху с дислокацией глазного яблока книзу; **Б** – компьютерное моделирование структур глазницы: смещение костных фрагментов, жировой клетчатки с распространением кровоизлияния в указанной области

Рис. 5. Диплопия и ограничение подвижности глазного яблока вследствие формирования мышечного дисбаланса опорно-мышечного аппарата глаза и глазницы:

А – ограничение подвижности глазного яблока кверху и смещение книзу; **Б** – компьютерное моделирование лицевого черепа: увеличение объема глазницы из-за смещения скуловой кости и нижнеглазничного края и переднего отдела нижней стенки глазницы книзу и кзади



(сатурация (StO_2)) и индекс объемного кровенаполнения сосудов микроциркуляторного русла ($V_{кр}$).

На основании анализа проведенных исследований и клинического материала классифицированы виды переломов глазницы.

1. По механизму травмы – «взрывной» перелом глазницы двух типов:

- а) «взрывной наружу» (англ. blow-out) со смещением костных отломков стенок глазницы кнаружи – 96% больных (рис. 1), орбиты – 4% больных;

- б) «взрывной внутрь» (англ. blow-in) со смещением костных отломков внутрь.
2. По ведущему клиническому симптому (последствия травмы):
- а) контузия опорно-мышечного аппарата глаза и глазницы легкой, средней, тяжелой степени;
 - б) кровотечение – субконъюнктивальная геморрагия, гифема, периорбитальная гематома между наружными мышцами глаза и надкостницей; ретробульбарная гематома;
 - в) потеря, снижение зрения – разрыв глазного яблока, частичная, полная атрофия зрительного нерва (12,6% больных);
 - г) глазодвигательная мышечная дисфункция;
 - д) диплопия и ограничение подвижности глазного яблока (рис. 3);
 - е) дислокация глазного яблока по горизонтальной и вертикальной осям;
 - ж) инфраорбитальная парестезия – у 100% больных при переломе нижней стенки глазницы;
 - з) сочетанное повреждение.
3. По времени возникновения диплопии и ограничения подвижности глазного яблока:
- а) немедленные диплопии и ограничение подвижности глазного яблока при давности травмы от 0 до 7 суток (рис. 4);
 - б) отсроченные диплопии и ограничения подвижности глазного яблока – от 7 до 14 суток (рис. 5);
 - в) поздние диплопии и ограничения подвижности глазного яблока – свыше 14–21 суток после травмы (рис. 6).
4. По изменению объема структур глазницы:
- а) изменение «костных» границ. Разрушение скуловой кости, стенок глазницы с дислокацией и повреждением мышечных структур, жировой клетчатки с кровоизлияниями и формированием гематомы (рис. 7);
 - б) изменение топографии опорно-мышечного аппарата глаза и глазницы;
 - в) изменение положения глазного яблока;
 - г) сочетанное изменение.
5. По дислокации глаз и опорно-мышечного аппарата глаза и глазницы:
- а) экзофтальм – 2,8% больных, энофтальм – 97,2% больных;
 - б) смещение глазного яблока по вертикальной и сагиттальной осям;
 - в) смещение мягких тканей в просвет верхнечелюстной пазухи и ячейки решетчатого лабиринта, в подвисочную ямку (рис. 8).



6. По характеру функционирования опорно-мышечного аппарата глаза и глазницы:

- а) нарушение подвижности глаз и диплопия – транзиторные, персистирующие;
- б) ограничение полей зрения в крайних отведениях глаз.

7. По состоянию мягких и костных тканей:

- а) без патологических изменений;
- б) ущемление наружных мышц глаза, зрительного нерва, компьютерное моделирование репозиции костных фрагментов глазницы; определение параметров репозированных костных фрагментов глазниц и скуловой кости после хирургического лечения (рис. 9);
- в) ущемление тканевых соединительнотканых перегородок глазницы;
- г) кровоизлияние, отек опорно-мышечного аппарата глаза и глазницы;
- д) контузия наружных мышц глаза;
- е) ишемическая контрактура Фолькмана;
- ж) рубцовые спайки между тканевыми соединительноткаными перегородками, наружными мышцами глаза, жировой клетчаткой, надкостницей, костными отломками.

8. Прогностические варианты исхода травмы орбиты с контузией опорно-мышечного аппарата глаза и глазницы:

- а) благоприятный – спонтанное или при проведении реабилитационных мероприятий устранение диплопии, улучшение зрения;
- б) частичное сохранение травматического косоглазия, диплопии;
- в) неблагоприятный – потеря зрения, незначительное устранение травматического косоглазия, диплопии, ограничения подвижности глаз.

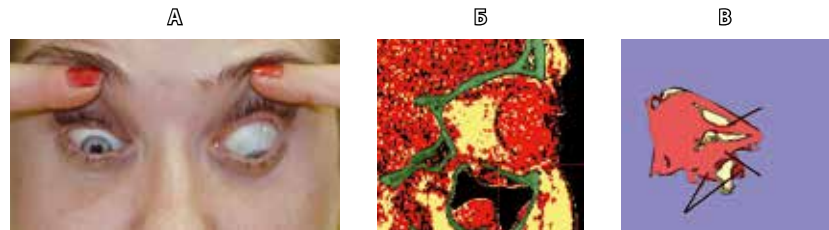


Рис. 6. Диплопия и резкое ограничение подвижности глазного яблока справа книзу: **А** – определяется смещение глазного яблока книзу с ограничением подвижности; **Б** – компьютерное моделирование структур глазницы: выявлены организация гематомы и развитие рубцового процесса в параретробульбарном пространстве; **В** – компьютерное моделирование мышечных структур и жировой клетчатки глаза и глазницы: утолщение и деформация контура нижней прямой глазодвигательной мышцы, зрительный нерв укорочен, извит, вокруг мышечного брюшка сформировалась гематома



Рис. 7. Компьютерное моделирование структур глазницы с определением параметров повреждения костных структур глазничной области – величины смещения костных фрагментов и направления дислокации жировой ткани орбиты



Рис. 8. Определение значения дислокации мягких тканей в просвет верхнечелюстной ячейки решетчатого лабиринта

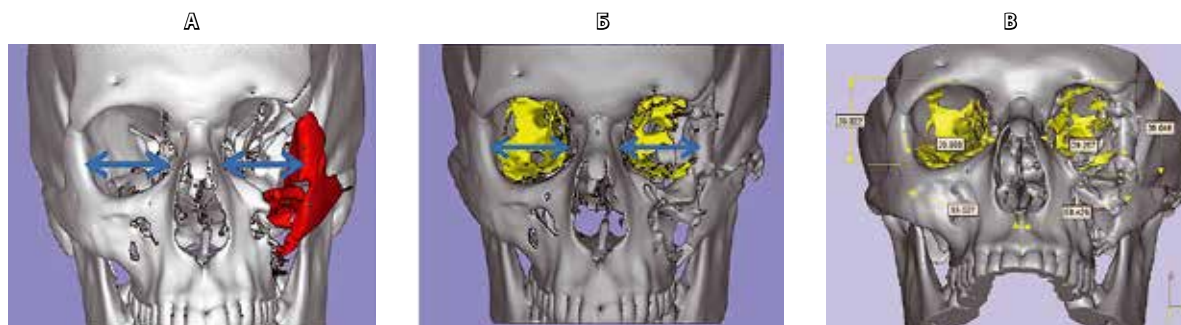


Рис. 9. Предоперационное компьютерное моделирование репозиции костных фрагментов глазницы: **А** – результат хирургического лечения с репозицией костных фрагментов глазницы; **Б** – результат хирургического лечения с репозицией костных фрагментов глазницы с компьютерным моделированием жировой клетчатки обеих глазниц; **В** – определены параметры репозированных костных фрагментов глазниц и скуловой кости после хирургического лечения. Разница положения костных стенок орбиты и скуловой кости в пределах допустимых значений (не более 2–3 мм)

Результаты и обсуждение

С помощью компьютерного моделирования структур орбиты выделены следующие варианты повреждений опорно-мышечного аппарата глаза и глазницы:

- ущемление глазодвигательной мышцы костными отломками (60% больных);
- угловое смещение мышечного брюшка, находящегося во взаимосвязи со зрительным нервом (30% больных);
- мышечная контузия (45% больных);
- гематома: по локализации – поднадкостнично (3% больных), между глазодвигательными мышцами и надкостницей (2% больных), ретробульбарно (13% больных);
- смещение мягких тканей, расположенных между мышечным брюшком и поврежденной костной стенкой, вследствие чего возникает «слияние» этих тканей с мышцей и/или зрительным нервом (13% больных);
- рубцовая деформация, распространяющаяся на глазодвигательную мышцу, клетчатку, область линии перелома, приводящая к стойкой контрактуре с ограничением подвижности глазного яблока (40% больных);
- увеличение объема орбиты вследствие смещения костных структур;
- разрыв связочной сети жировой клетчатки глазницы с образованием дефицита жировой клетчатки в области наружной, внутренней, верхней стенок глазницы;
- при введении костных стенок с разнонаправленными смещениями костных фрагментов выявляются следующие варианты:
 - а) костный фрагмент наружной стенки глазницы находится в ретробульбарном пространстве (в этих случаях концентрация клетчатки представлена в виде отдельных конгломератов);
 - б) повреждение внутренней стенки глазницы сопровождается введением жировой клетчатки в решетчатый лабиринт, в верхний и средний носовые ходы;
 - в) в области разрушенной верхней стенки глазницы отмечается отсутствие жировой клетчатки.

На основании данных лазерной спектродетекции оценено состояние микроциркуляции у больных при травме средней зоны лица. Изменения микроциркуляции средней зоны лица отражают процессы адаптации кровообращения в условиях формирования патологической системы нервно-мышечных взаимоотношений в течение длительного периода. В показателях

состояния микроциркуляции до оперативного лечения есть различия по сравнению с нормой. Кроме того, сама операция, являясь травматическим повреждением, оказывает отрицательное влияние на показатели микроциркуляции и поглощения тканями кислорода.

После травмы происходит изменение притока и оттока крови в микроциркуляторном русле средней зоны лица как на стороне повреждения, так и на интактной стороне. Это объясняется не только непосредственной травматизацией сосудистой сети, но и тем, что при нарушении целостности таких полостных структур черепа, как глазница и верхнечелюстной синус, происходит перераспределение объемов межклеточной жидкости и объема циркулирующей крови.

У пациентов в раннем периоде после травмы (до 7 дней) с небольшим смещением опорно-мышечного аппарата глаза и глазницы характерны явления парабиоза мимических и жевательных мышц на стороне травмы, что сопровождается незначительным снижением средней скорости кровотока в основной и приводящих артериях. В это время отмечается усиление кровообращения в микроциркуляторном русле как на стороне перелома, так и на интактной стороне. Это указывает на развитие защитного посттравматического воспаления, при котором на стороне травмы вследствие застойных явлений происходит снижение оксигенации тканей, а на интактной стороне отмечается повышение оксигенации, которое расценивается как открытие шунтов с целью «сброса неиспользуемого материала».

Данные лазерной спектродетекции на этом фоне отмечают снижение StO_2 в тканях на стороне повреждения до $30 \pm 1,2\%$, что свидетельствует о венозном застое. При этом интактная сторона также реагирует на травму компенсаторным изменением микроциркуляции – повышением показателей $V_{кр}$ и StO_2 . Показатели лазерной спектродетекции в раннем и отдаленном периодах после травмы при переломе скулоорбитальной области без смещения на поврежденной стороне указывают на повышение $V_{кр}$ на 3,2%, снижение StO_2 на 12,1%; в области интактной стороны – на повышение $V_{кр}$ на 20,8%, повышение StO_2 на 6,5%. Переломы стенок глазницы со смещением на стороне травмы сопровождаются снижением $V_{кр}$ на 6,8%, снижением StO_2 на 11,7%, а на интактной стороне отмечается повышение $V_{кр}$ на 35,7% и StO_2 на 3,9%. В случаях повреждения стенок верхнечелюстной пазухи выявляется снижение $V_{кр}$ с обеих сторон (на стороне травмы – на 5,6%), а также



снижение StO_2 на интактной стороне (7,2%), что обусловлено в данном случае сопутствующей закрытой черепно-мозговой травмой.

В группах пациентов при повреждении полостных структур – стенок глазницы, верхнечелюстного синуса – степень взаимоотношения нарушений микроциркуляции и показателей газообмена была различной.

В раннем периоде после перелома скуловой области и стенок глазницы, верхнечелюстного синуса с выраженным смещением костных фрагментов отмечается усиление кровотока в приносящих артериях как на стороне перелома, так и на интактной стороне вследствие разгерметизации полости глазницы и/или верхнечелюстного синуса, что соответствует увеличению объемов. На стороне перелома в микроциркуляторном русле $V_{кр}$ снижается в среднем на $12,5 \pm 0,5\%$ по сравнению с нормой, при этом на здоровой стороне объем микроциркуляции увеличивается в среднем на $28,5 \pm 0,1\%$ по сравнению с нормой. Изменения микроциркуляции на интактной стороне обуславливались компенсаторным раскрытием шунтов, что приводило к значительному увеличению скорости кровотока в приводящих артериях и повышению StO_2 на поврежденной стороне.

При сложных переломах скулоорбитального комплекса с повреждением опорно-мышечного аппарата глаза и глазницы, осложненным развитием нарушений нервно-мышечного аппарата, отмечается резкое снижение показателей $V_{кр}$ и на стороне травмы, и на интактной стороне. При этом StO_2 значительно снижается с обеих сторон, что указывает на дискоординацию в деятельности сосудистого центра. Это характерно для перенесенной закрытой черепно-мозговой травмы, которая имеется в анамнезе у всех больных с подобными переломами. В 6 случаях при сопутствующей черепно-мозговой травме отмечено снижение StO_2 на $15,7 \pm 0,2\%$ по сравнению с нормой, что объясняется развитием застойных процессов центрального генеза.

Через 1 месяц после репозиции костных отломков сохраняется перераспределение объема циркулирующей крови в сосудах микроциркуляторного русла: повышение отмечено только у 10% больных. Снижение $V_{кр}$ свидетельствует о сохранении патологических процессов, в основном характеризующихся изменением чувствительности и двигательной активности мышц поврежденной области. В периоде последствий травмы (2–3 месяца) идет активное формирование костной мозоли, и наблюдаемое при этом

снижение концентрации кислорода в тканях обусловлено усилением обменных процессов в зоне рубца и, следовательно, большим потреблением кислорода в этой области. В позднем периоде травмы (от 6 месяцев до 1 года и более) недостоверные изменения объема циркулирующей крови объясняются адаптацией организма к функциональным возможностям нервно-мышечного аппарата. При неправильно консолидированных переломах страданиям подвергаются также мышцы интактной стороны, что связано с перераспределением двигательной нагрузки.

При двусторонних травматических повреждениях средней зоны лица нарушения микроциркуляции превалируют на стороне наибольших повреждений.

Таким образом, по данным лазерной спектрофотометрии, изменение $V_{кр}$ и StO_2 в тканях определялось в различных вариантах:

- а) снижение $V_{кр}$ и StO_2 , что сопутствовало отеку и застойным явлениям;
- б) снижение $V_{кр}$ и повышение StO_2 , что определялось при спастических состояниях мышечной ткани и отражало спазм сосудов;
- в) повышение $V_{кр}$ и StO_2 , что выявлялось на интактной стороне и косвенно указывало на открытие шунтов;
- г) повышение $V_{кр}$ и снижение StO_2 , что отмечалось при улучшении показателей электровозбудимости мышц и отражало восстановление обменных процессов в тканях.

На основании данных микроциркуляции разработан алгоритм выбора тактики лазерной терапии:

- в раннем периоде после травмы при снижении показателя $V_{кр}$ и повышении StO_2 после операции применяются локальные методики воздействия;
- в периоде после травмы при сниженных показателях $V_{кр}$ и StO_2 как на стороне травмы, так и на интактной стороне применяется облучение проекции моторных или зрительных зон коры головного мозга до и после операции;
- в отдаленном периоде после травмы при значительных диспропорциях в показателях $V_{кр}$ и StO_2 на стороне травмы и на интактной стороне рекомендуется проведение курса транскутанного лазерного облучения крови с целью подготовки к оперативному лечению;
- с 3 суток после операции для активизации микроциркуляции и профилактики рубцевания в задних отделах орбиты применяется эндоназальная методика лазерного облучения.

Местное применение лазерного излучения (аппарат Стандарт, длина волны 0,89 мкм, частота 80 Гц, мощность излучения на выходе световода 10 мВт, по 5 минут на 1 поле, 5 ежедневных процедур) оказывает активирующее влияние на микроциркуляцию непосредственно в зоне воздействия. При локальном воздействии инфракрасным (ИК) лазерным излучением в зоне травмы отмечено увеличение показателя $V_{кр}$ в зоне травмы на $10,5 \pm 0,1\%$ с повышением утилизации кислорода на $5,9 \pm 0,5\%$, что свидетельствует об активизации кислородпоглощающих процессов в травмированных тканях.

При тяжелых травмах глазничной области и длительно существующих рубцовых деформациях локальные воздействия также увеличивают $V_{кр}$ с двух сторон, но при этом сохраняются достоверно повышенные показатели StO_2 (до $25,0 \pm 0,6\%$), что характерно для нарушенной трофики тканей и в анамнезе не исключает развития воспалительных осложнений. Именно поэтому для активизации гуморального иммунитета рекомендуется методика общего лазерного воздействия – транскраниальное лазерное облучение крови.

При проведении эндоназального лазерного облучения как рефлекторного воздействия (мощность излучения 1 мВт, 5 минут на поле, курс 8–10 процедур) достоверных изменений $V_{кр}$ в средней зоне лица не выявлено. По окончании курса отмечается снижение StO_2 на $7,4 \pm 0,1\%$, что обусловлено активизацией двигательной активности круговой мышцы глаза, снижением отека поврежденной глазницы и восстановлением электровозбудимости глазодвигательных мышц и лицевого нерва.

При проведении ИК-лазерного облучения моторных зон лица в коре головного мозга (аппарат Скаляр-Панатрон, мощность излучения 5 мВт, по 3 минуты на поле, 8–10 процедур; доза облучения: 1 процедура – $1,2 \text{ Дж/см}^2$; курс – от 9,6 до 12 Дж/см^2) нормализуются взаимоотношения

показателей $V_{кр}$ и StO_2 . Достоверные изменения функционального состояния нервно-мышечного аппарата челюстно-лицевой области сохраняются не менее 3 месяцев.

Заключение

Изменение притока и оттока крови в микроциркуляторном русле средней зоны лица, наблюдаемое как на стороне повреждения, так и на интактной стороне, происходит не только вследствие непосредственной травматизации сосудистой сети, но и по причине перераспределения объемов межклеточной жидкости и объема циркулирующей крови при нарушении целостности полостных структур черепа – глазницы и верхнечелюстного синуса.

При выборе тактики применения лазерной терапии важно учитывать зону приложения, так как, активизируя клеточное дыхание и нормализуя электровозбудимость нервно-мышечного аппарата, лазерное облучение вызывает разнонаправленные сосудистые реакции. Локальное лазерное облучение приводит к перераспределению кровотока с его усилением в месте воздействия и снижением в прилегающих зонах, эндоназальное – повышает кровообращение в зоне орбиты, а транскраниальное – способствует нормализации микроциркуляции во всех группах мышц челюстно-лицевой области с повышением эрготропной функции вегетативной нервной системы.

Рентгенологическое исследование, дополненное компьютерным моделированием при исследованиях повреждений опорно-мышечных структур глаза и глазницы, рекомендуется при проведении диагностики и составлении плана реабилитации больных с данной патологией. Метод лазерной спектрофотометрии позволяет проследить в динамике процесс восстановления микроциркуляции тканей в до- и послеоперационном периоде и во время проведения реабилитационных мероприятий. ☺

Литература (References)

1. Вялов СЛ, Пшеничнов КП, Куиндоз П, Монтандон Д, Питте Б. Современные представления о регуляции процесса заживления ран (обзор литературы). *Анналы пластической, реконструктивной и эстетической хирургии*. 1999;(1):49–56. (Vyalov SL, Pshenichnov KP, Kuindoz P, Montandon D, Pitte B. [Current concepts of regulation of wound repair (literature review)]. *Annaly plasticheskoy, rekonstruktivnoy i estetikeskoy khirurgii*. 1999;(1):49–56. Russian).
2. Ипполитов ВП, Мариничева ИГ. Анализ отдаленных результатов хирургического лечения посттравматических деформаций лобно-носо-глазничного комплекса. В: *Материалы VII Международной конференции челюстно-лицевых хирургов и стоматологов*. Санкт-Петербург, 28–30 мая 2012 г. СПб.; 2002:69. (Ippolitov VP, Marinicheva IG. Analysis of the long-term results of surgical correction of post-traumatic deformations of frontal-nasal-orbital complex. In: *Proceedings of the VII International Conference of Oral and Maxillofacial Surgeons and Dentists*. Saint Petersburg; 2002:69. Russian).
3. Fan X, Li J, Zhu J, Li H, Zhang D. Computer-assisted orbital volume measurement in the surgical correction of late ophthalmos caused by blowout fractures. *Ophthalm Plast Reconstr Surg*. 2003;19(3):207–11.
4. Николаенко ВП, Астахов ЮС. Орбитальные переломы: руководство для врачей. СПб.: Эко-вектор; 2012. 436 с.



- (Nikolaenko VP, Astakhov YuS. Orbital facial fractures: physician guidance. Saint Petersburg: Eko-vektor; 2012. 436 p. Russian).
- Weaver AA, Loftis KL, Tan JC, Duma SM, Stitzel JD. CT Based Three-Dimensional Measurement of Orbit and Eye Anthropometry. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2010;51(10):4892–7.
 - Burnstine MA. Clinical recommendations for repair of orbital facial fractures. *Curr Opin Ophthalmol.* 2003;14(5):236–40.
 - Крупаткин АИ, Голубев ВГ, Панов ДЕ. Лазерная доплеровская флоуметрия в диагностике и выборе тактики лечения при повреждениях периферических нервов. В: Крупаткин АИ, Сидоров ВВ, ред. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови. М.: Медицина; 2005. с. 136–48. (Krupatkin AI, Golubev VG, Panov DE. Laser Doppler flowmetry for diagnosis and treatment choice in peripheral nerves damage. In: Krupatkin AI, Sidorov VV, editors. Laser Doppler flowmetry of blood microcirculation. Moscow: Meditsina; 2005. p. 136–48. Russian).
 - Fuller SC, Strong EB. Computer applications in facial plastic and reconstructive surgery. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg.* 2007;15(4):233–7.
 - Kim YK, Park CS, Kim HK, Lew DH, Tark KC. Correlation between changes of medial rectus muscle section and enophthalmos in patients with medial orbital wall fracture. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2009;62(11):1379–83.
 - Kolk A, Pautke C, Wiener E, Ploder O, Neff A. A novel high-resolution magnetic resonance imaging microscopy coil as an alternative to the multislice computed tomography in post-operative imaging of orbital fractures and computer-based volume measurement. *J Oral Maxillofac Surg.* 2005;63(4):492–8.
 - Ploder O, Klug C, Voracek M, Backfrieder W, Tschabitscher M, Czerny C, Baumann A. A computer-based method for calculation of orbital floor fractures from coronal computed tomography scans. *J Oral Maxillofac Surg.* 2001;59(12):1437–42.
 - Ploder O, Klug C, Backfrieder W, Voracek M, Czerny C, Tschabitscher M. 2D- and 3D-based measurements of orbital floor fractures from CT scans. *J Craniomaxillofac Surg.* 2002;30(3):153–9.
 - Ploder O, Klug C, Voracek M, Burggasser G, Czerny C. Evaluation of computer-based area and volume measurement from coronal computed tomography scans in isolated blowout fractures of the orbital floor. *J Oral Maxillofac Surg.* 2002;60(11):1267–72.
 - Regensburg NI, Kok PH, Zonneveld FW, Baldeschi L, Saeed P, Wiersinga WM, Mourits MP. A new and validated CT-based method for the calculation of orbital soft tissue volumes. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2008;49(5):1758–62.

Computer modeling and laser technologies in rehabilitation of patients with midfacial trauma

Stuchilov V.A. • Nikitin A.A. • Sekirin A.B. • Filatova E.V. • Larionov K.S. • Grishin A.S. • Kokorev V.Yu. • Ryabtseva A.A.

Stuchilov Vladimir Aleksandrovich – MD, PhD, Professor, Chief Research Associate, Oral and Maxillofacial Surgery Department¹
 ✉ 42–214 Plyushchikha ul., Moscow, 121119, Russian Federation.
 Tel.: +7 (916) 631 72 59.
 E-mail: va-stuchilov@yandex.ru

Nikitin Aleksandr Aleksandrovich – MD, PhD, Professor, the Head of the Oral and Maxillofacial Surgery Department¹

Sekirin Aleksey Borisovich – MD, PhD, the Head of the Physical Therapy and Rehabilitation Department¹

Filatova Elena Vladimirovna – MD, PhD, Professor, Medical Rehabilitation and Physical Therapy Department, Postgraduate Medical School¹, the Head of the Medical Rehabilitation Department²

Larionov Kirill Sergeevich – MD, PhD, Senior Research Associate, Physical Therapy and Rehabilitation Department¹

Grishin Aleksey Sergeevich – MD, Physician, Oral and Maxillofacial Surgery Department³

Kokorev Vasilii Yur'evich – MD, PhD, Physician, Ophthalmology Department¹

Ryabtseva Alla Alekseevna – MD, PhD, Professor, the Head of the Ophthalmology Department¹

Aim: To assess the kind of damage of musculoskeletal apparatus of eye and orbit. To develop algorithm of laser therapy to restore orbital circulation and algorithm of transcranial laser therapy to improve microcirculation in maxillofacial muscles.

Materials and methods: 75 patients with midfacial trauma were examined using laser spectrophotometry and computer modeling of orbital structures in frontal, sagittal, and inclined planes with SSD, MPR and VRT reconstructions (with Mimics software (Materialise, Leuven, Belgium)). To study orbital and maxillofacial microcirculation complex Spectrotest was used. Tissue oxygen concentration (SatO₂) and blood filling volume index of microcirculation (V_{br}) were measured.

Results: After computer modeling, several variants of damage of musculoskeletal apparatus of eye and orbit were identified including oculomotor muscle entrapment in 60% of patients, angular deviation of muscle belly in 30%, muscle contusion – in 45%, orbital hematoma – in 18%, scarring of musculoskeletal apparatus of

orbit – in 40%. During early period of trauma of orbital wall and maxillary sinus, V_{br} decreased by a mean of 12.5 ± 0.5% compared to normal values, whereas contralateral microcirculation increased by a mean of 28.5 ± 0.1% compared to normal values. Abnormal blood distribution persisted in the long-term, after bone reposition: blood flow increase was found only in 10% of patients. In severe trauma and chronic scarring, local laser irradiation was associated with increase of V_{br} bilaterally, but chronically and significantly increased SatO₂ indicated impaired tissue trophics and high risk of inflammatory complications.

Conclusion: Computer modeling is of great value in the diagnosis and rehabilitation planning in patients with injuries of musculoskeletal apparatus of eye and orbital structures. Laser spectrophotometry is useful for the monitoring of microcirculation before, after the operation and during rehabilitation.

Key words: laser therapy, trauma, orbit, laser spectrophotometry, computer modeling.

¹ Moscow Regional Research and Clinical Institute (MONIKI); 61/2 Shchepkina ul., Moscow, 129110, Russian Federation

² Family Medical Clinic "Detstvo Plus"; 4 Savelkinskiy proezd, Zelenograd, Moscow, 124482, Russian Federation

³ District Hospital No. 2; 2 selo Perkhushkovo, Odintsovskiy rayon, Moskovskaya obl., 143081, Russian Federation