

УДК 531/534: [57+61]

УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПЕРИОРБИТАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ОФТАЛЬМОПАТОЛОГИЯХ

Е.Н. Иомдина, И.А. Филатова, Д.Н. Ситникова

Московский научно-исследовательский институт глазных болезней им. Гельмгольца Минздравсоцразвития России, Москва, 105062, ул. Садовая-Черногрозская, 14/19, e-mail: iomdina@mail.ru

Аннотация. Проведено сравнительное изучение упруго-прочностных свойств тканей верхнего века (кожи, леватора, круговой мышцы) при его опущении (птозе), кожи нижнего и верхнего века, бровей и конъюнктивы с рубцовыми деформациями, а также свободных трансплантатов (избытка кожи верхнего века, кожи заушной области и внутренней поверхности плеча, слизистой губы), используемых для реконструктивно-пластического хирургического лечения. Представлены результаты механических испытаний 400 образцов данных тканей, полученных при оперативном лечении птоза и травматического повреждения 194 пациентов в возрасте от 3 до 80 лет. Выявлены особенности, связанные с возрастом, тяжестью птоза и видом травматического повреждения. Установлены соответствия ключевых биомеханических параметров реконструируемой и трансплантируемой ткани, которые могут служить критерием для выбора наиболее адекватного трансплантата при реконструктивном лечении рубцовых деформаций периорбитальной области.

Ключевые слова: механические свойства, кожа век, периорбитальная область, конъюнктива, рубцовые деформации, леватор, птоз.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования, посвященные механическим свойствам тканей человека, показали, что биомеханические показатели кожного покрова и мышц существенно зависят от возраста, локализации и изменяются при различных патологических состояниях. Кроме того, механические свойства кожи, в частности ее деформационная способность и упругость, изменяются под действием постоянных механических нагрузок, развиваемых нижележащими мышечными структурами при их сокращении [2, 3, 18, 20, 22, 24–26].

В последние годы активно изучаются биомеханические свойства различных тканей глаза и их роль в развитии его заболеваний [9]. Однако механические свойства век, включающих кожный покров, мышечную ткань и хрящевую пластинку, в норме и при патологии до сих пор практически не известны. Имеются лишь косвенные свидетельства того, что изменение механических напряжений в тканях век может быть связано с нарушениями функционального состояния структур глазного яблока, в частности с нарушениями аккомодации [15]. В единственном исследовании [16] была сделана попытка интраоперационно оценить эластические свойства и сократительную способность леватора (мышцы – поднимателя верхнего века) при птозе (опущении верхнего века), но связь этих показателей с биомеханическими свойствами других тканей века и с клиническими особенностями конкретной патологии, в частности птоза, не была изучена.

В то же время сведения о механических характеристиках тканей век могли бы быть полезны для разработки эффективных методов как косметической, так и лечебно-восстановительной пластической хирургии.

В связи с увеличением в последние годы частоты травматических повреждений вспомогательного аппарата глаза, особенно у лиц молодого трудоспособного возраста, растет и количество пациентов с деформациями век и периорбитальной области (области вокруг глазницы). Рубцовые деформации век и окружающих глаз тканей, развивающиеся после тяжелой травмы глаз, оказывают негативное влияние на функциональное состояние органа зрения.

Как известно, рубцовые деформации возникают вследствие частичной утраты кожных покровов, а также из-за смещения тканей в результате тракций (действия усилий), что может привести к серьезным осложнениям и вызвать рубцовый выворот века, лагофтальм (затрудненность или невозможность полного смыкания век), деформацию глазной щели. Кроме связанных с этим значительных функциональных нарушений, рубцовые деформации являются причиной развития различных косметических дефектов. Этим обусловлена необходимость реконструктивной пластики с иссечением рубцовоизмененной ткани и трансплантацией других тканей с целью восполнения дефекта.

Для восстановления век как при экстренной помощи, так и для плановой реконструкции нередко используют свободные лоскуты с бедра и живота, а также кожи периорбитальных областей (лба, виска, щеки, волосистой части головы) [8]. Однако эти ткани малопригодны для пластики век, поскольку из-за чрезмерной толщины и жесткости такие кожные трансплантаты не могут обеспечить достаточную подвижность век [10]. Пересадка свободных расщепленных и полнослойных кожных лоскутов с конечностей и живота нередко приводит к частичному некрозу, сокращению лоскута с вторичной деформацией, отличию по цвету тканей [21].

В последнее время в качестве свободных трансплантатов стали использовать избыток кожи верхнего века, кожу заушной области и внутренней поверхности плеча [4].

Тяжелые травмы и ожоги глаз нередко сочетаются с отсутствием или сокращением орбитальных сводов. В этих случаях удаление глазного яблока выполняется при наличии деформации конъюнктивы (слизистой оболочки, покрывающей переднюю поверхность глазного яблока и внутреннюю поверхность век) [5, 12, 17, 23]. При этом восстановление полости для полноценного глазного протезирования представляет собой один из самых проблематичных разделов офтальмопластики. Разработано много методов, предусматривающих пластику местными тканями либо пересадку свободных трансплантатов – кожи или аутослизистой губы [6, 11, 13, 17, 19]. Но в части случаев реконструктивная пластика, использующая перечисленные трансплантаты, оказывается недостаточно эффективной в связи с возникновением грубых рубцовых деформаций, требующих в отдаленном периоде повторных операций [1, 7, 14].

Очевидно, для повышения эффективности реконструктивно-пластической хирургии необходим более адекватный подбор трансплантационных материалов, основанный, в том числе, на близком соответствии их механических характеристик биомеханическим свойствам реконструируемых тканей периорбитальной области или конъюнктивы.

Однако биомеханических исследований такого рода до сих пор практически не проводилось.

Цель работы – сравнительное изучение упруго-прочностных свойств тканей верхнего века (кожи, леватора, круговой мышцы) при птозе, а также кожи век, бровей и конъюнктивы с рубцовыми деформациями и свободных трансплантатов (избытка кожи верхнего века, кожи заушной области и внутренней поверхности плеча, слизистой губы), используемых для реконструктивно-пластического хирургического лечения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Образцы тканей глаза или его придаточного аппарата получали во время оперативных вмешательств по поводу устранения птоза либо в ходе хирургического лечения последствий травм и ожога 194 пациентов в возрасте от 3 до 80 лет.

В первой части исследования, посвященной изучению упруго-прочностных свойств тканей верхнего века при птозе, механическим испытаниям подвергли 226 образцов, из них:

1) 116 образцов кожи верхнего века 19 детей в возрасте от 3 до 10 лет ($5,5 \pm 0,4$ г.) и 10 взрослых пациентов в возрасте от 17 до 45 лет ($24,8 \pm 3,3$ г.) с врожденным птозом, а также 33 пациентов с приобретенным птозом различного генеза: посттравматическим – 7 пациентов 16–51 года ($28,4 \pm 2,9$ г.), сенильным (старческим) – 5 пациентов 70–81 года ($72,5 \pm 1,1$ г.), птозом, вызванным митохондриальной миопатией (системным поражением мышечной ткани) – 5 пациентов 38–70 лет ($55,6 \pm 6,3$ г.), сенильным (старческим) птозом в сочетании с блефарохалазисом (избыточностью ткани верхнего века с нависанием кожной складки) – 16 пациентов 40–80 лет (средний возраст $56,9 \pm 3,1$ г.);

2) 43 образца круговой мышцы 5 детей в возрасте от 4 до 10 лет ($5,8 \pm 1,1$ г.) и 9 взрослых от 17 до 45 лет ($23,4 \pm 2,4$ г.) с врожденным птозом, 3 пациента 64–70 лет ($68,5 \pm 1,5$ г.) с сенильным (старческим) птозом, 3 пациентов 38–70 лет ($55,7 \pm 5,5$ г.) с миопатическим (связанным с системными заболеваниями мышц) птозом, 10 пациентов 9–57 лет ($30,5 \pm 5,2$ г.) с посттравматическим птозом;

3) 46 образцов леватора 21 ребенка в возрасте 3–14 лет ($7 \pm 0,7$ г.) и 5 взрослых пациентов в возрасте 17–30 лет ($22,6 \pm 2,5$ г.) с врожденным птозом, 13 пациентов 9–56 лет ($34,1 \pm 4,1$ г.) с посттравматическим птозом.

Во второй части работы, посвященной изучению упруго-прочностных свойств кожи век, бровей и конъюнктивы с рубцовыми деформациями, а также свободных трансплантатов, исследовано 174 образца, из них:

1) 57 образцов кожи верхнего века, взятых у 31 пациента: 12 образцов у 5 пациентов в возрасте 40–67 лет (в среднем $49 \pm 3,8$ г.) с избытком кожи верхнего века и 45 образцов у 26 пациентов в возрасте 13–63 лет (в среднем $32,8 \pm 2,7$ г.) с рубцовыми изменениями верхних век;

2) 26 образцов кожи нижнего века с рубцовыми изменениями, взятых у 16 пациентов 6–71 года (в среднем $37,8 \pm 5,4$ г.);

3) 11 образцов кожи брови 5 пациентов 10–38 лет (в среднем $26,8 \pm 5,2$ г.);

4) 12 образцов кожи заушной области 7 пациентов 19–75 лет (в среднем $57,0 \pm 4,9$ г.);

5) 15 образцов кожи внутренней поверхности плеча, взятых у 5 пациентов 36–54 лет (в среднем $44,5 \pm 1,6$ г.);

6) 22 образца конъюнктивы, взятых у 20 пациентов, из них 10 образцов рубцовоизмененной конъюнктивы получены у 10 пациентов в возрасте от 21 до 54 лет (в среднем $40,3 \pm 4,0$ г.), 7 образцов конъюнктивы без рубцов взяты у 7 пациентов в возрасте 22–69 лет (в среднем $41,7 \pm 6,1$ г.) и 5 образцов получены у 3 пациентов в возрасте от 26 до 57 лет (в среднем $32,6 \pm 6,1$ г.) с рубцовоизмененной конъюнктивой в результате исхода ожога;

7) 31 образец аутослизистой губы 20 пациентов в возрасте от 10 до 57 лет (в среднем $34,7 \pm 2,8$ г.).

Стандартные образцы для исследования (шириной 4,0 мм) вырезали из удаленных тканей специальным ножом с двумя режущими поверхностями. Механические испытания проводили с помощью аппарата *Autograph AGS-H*, (*SHIMADZU*, Япония). После измерения толщины на *PosiTector 6000* (*DeFelsko*, USA) образцы помещали в зажимы аппарата. Зависимость напряжение–деформация, получаемая в процессе растяжения образца (со скоростью 1 мм/мин) вплоть до разрыва, непрерывно записывалась в цифровом и графическом режиме компьютерным блоком аппарата. Определяли разрывную нагрузку P (Н), предел прочности σ (МПа), деформацию разрыва ε (%) и модуль упругости E (МПа) исследуемого образца.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных данных выявил отличия в упруго-прочностных параметрах тканей верхнего века между группами пациентов различного возраста с различными формами птоза и различной выраженностью поражения (рис. 1).

Обнаружено, что механические показатели кожи верхнего века при врожденном и приобретенном птозе (нетравматического генеза) различны (табл. 1). Врожденный птоз характеризуется достоверно более низкой величиной модуля упругости (E) и предела прочности (σ) кожи верхнего века, чем приобретенный птоз, как у детей, так и у взрослых, в то время как ее растяжимость (ϵ) в этих группах различается незначительно.

Подтверждением зависимости механических показателей от формы птоза является наличие достоверных различий величин E и σ , характерных для взрослых одной и той же возрастной группы, но с различными формами птоза (см. табл. 1).

При этом, как оказалось, на механические показатели кожи верхнего века влияют выраженность птоза и возраст пациента (табл. 2).

Как показывают данные табл. 2, наибольшее влияние на механические показатели оказывает выраженность приобретенного птоза: при его тяжелой форме величины E и σ кожи века достоверно ниже, чем соответствующие показатели, относящиеся к птозу легкой и средней степени выраженности. В отличие от приобретенного птоза при тяжелой форме врожденного птоза достоверно повышенным показателем (по сравнению с легкой и средней степенью его выраженности) оказалась только деформация ϵ . Однако необходимо иметь в виду и возрастные различия сравниваемых групп, которые могут накладываться на различия, связанные с патологией.

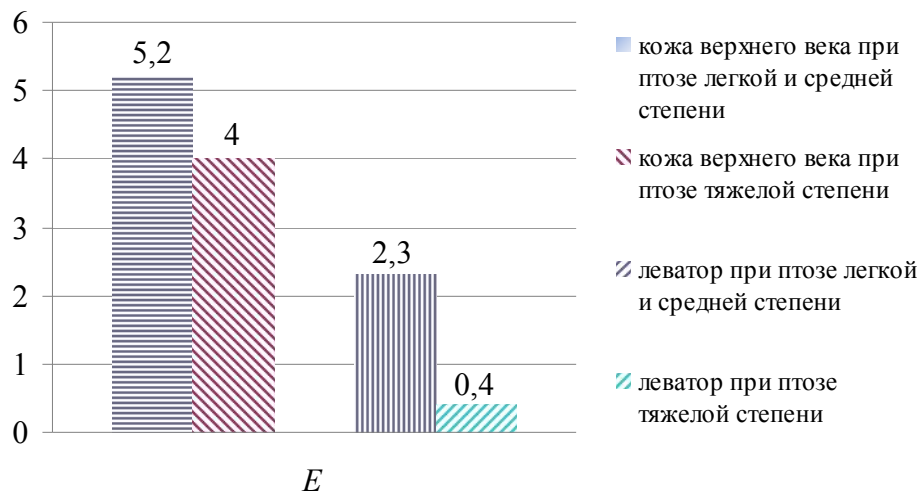


Рис. 1. Снижение средних значений модуля упругости E (МПа) кожи верхнего века и леватора при птозе различной степени

Таблица 1

Упруго-прочностные показатели кожи верхнего века при врожденном и приобретенном птозе у детей и взрослых

Упруго-прочностные параметры	Форма птоза, возраст, лет		
	Врожденный, дети, 5,5±0,4	Врожденный, взрослые, 24,8±3,3	Приобретенный, взрослые, 28,4±2,9
E , МПа	4,8±0,4	3,9±0,5	7,8±1,4*
σ , МПа	2,8±0,2	2,6±0,3	4,0±0,6*
ϵ , %	93,4±9,8	98,0±8,5	103,3±21,8

Примечание: * различие с соответствующим показателем, относящимся к врожденной форме птоза, достоверно ($p < 0,02$)

Таблица 2

Упруго-прочностные показатели кожи верхнего века при различной выраженности врожденного и приобретенного птоза у пациентов различного возраста

Упруго-прочностные параметры	Степень тяжести врожденного птоза, возраст, лет		Степень тяжести приобретенного птоза, возраст, лет	
	легкая и средняя, 19,1±5,2	тяжелая, 10,7±1,8	легкая и средняя, 37,4±3,7	тяжелая, 72,5±1,1
<i>E</i> , МПа	4,5±0,6	4,8±0,4	5,8±1,3	3,2±0,5*
σ , МПа	2,3±0,3	2,8±0,2	3,0±0,3	1,9±0,2*
ϵ , %	69,9±7,6	93,3±7,2*	91,9±15,1	89,9±14,1

Примечание: * различие с соответствующим показателем, относящимся к легкой и средней степени птоза, достоверно ($p < 0,05$)

Представляет интерес сравнительный анализ нарушений механических свойств кожи верхнего века при приобретенном птозе, вызванном различными причинами: возрастными изменениями (в том числе блефарохалазисом), травмой, миопатией.

При приобретенном птозе нетравматического характера модуля упругости *E* кожи верхнего века в целом по группе пациентов в возрасте 19–81 год (средний возраст – 52,0±3,1 г.) составляет 4,9±0,6 МПа, $\sigma = 2,5\pm 0,3$ МПа, а $\epsilon = 82,3\pm 7,2\%$. При блефарохалазисе у пациентов близкой возрастной группы (40–80 лет, средний возраст – 56,9±3,1 г.) *E* = 5,0±0,4 МПа и $\sigma = 2,2\pm 0,2$ МПа, они незначительно отличаются от средних значений этих показателей, полученных по группе в целом, в то время как $\epsilon = 65,0\pm 4,4\%$ существенно снижена ($p < 0,02$), что свидетельствует о значительной потере эластичности кожи верхнего века при данной патологии.

Выраженное снижение упругих свойств и повышение растяжимости кожи верхнего века отмечено у пожилых пациентов с сенильным птозом (70–81 год, средний возраст – 72,5±1,1 г.). В этой группе *E* = 2,9±0,4 МПа, $\sigma = 1,9\pm 0,1$ МПа, а $\epsilon = 97,4\pm 18,9\%$. Различия механических показателей кожи верхнего века при сенильном птозе и блефарохалазисе свидетельствуют о том, что в первом случае значительную роль, по-видимому, играют именно выраженные инволюционные изменения кожи, а во втором случае патогенетические факторы могут быть связаны не только с возрастом, но и с другими, например метаболическими, расстройствами.

У пациентов среднего и старшего возраста (38–70 лет, в среднем 55,6±6,3 г.) с птозом, вызванным системным поражением мышц (миопатией), все исследованные механические показатели: *E* = 4,9±0,4 МПа, $\sigma = 2,8\pm 0,4$ МПа и $\epsilon = 87,2\pm 14,6\%$ – находятся в диапазоне значений, характерных для группы пациентов с приобретенным птозом нетравматического происхождения.

Анализ полученных данных показал, что наибольшие различия в упруго-прочностных свойствах кожи века выявляются при сравнении показателей, соответствующих птозу травматического и нетравматического генеза. Так, при посттравматическом птозе у молодых пациентов (средний возраст – 27,4±4,9 г.) механические показатели кожи верхнего века (*E* = 3,0±0,7 МПа, $\sigma = 1,3\pm 0,3$ МПа, $\epsilon = 62,1\pm 4,5\%$) существенно хуже, чем при приобретенном птозе нетравматического генеза у пациентов той же возрастной группы (28,4±2,9 г.): *E* = 7,8±1,4 МПа, $\sigma = 4,0\pm 0,6$ МПа, $\epsilon = 103,3\pm 21,8$ ($p < 0,02$). Такие различия, по-видимому, связаны с наличием в большинстве случаев посттравматического птоза рубцовых деформаций тканей века, значительно снижающих их упругие свойства.

Поскольку одной из основных причин развития птоза является нарушение функции леватора (мышцы – поднимателя верхнего века), представляет интерес исследование его механических свойств при различных формах данной патологии и степени ее тяжести, так как эти свойства опосредованно отражают сократительную способность мышцы.

Таблица 3

Упруго-прочностные показатели леватора при приобретенном и врожденном птозе различной степени выраженности

Форма и тяжесть птоза	Средний возраст, лет	E , МПа	σ , МПа	ε , %
Врожденный у детей, 4–14 лет	8,0±0,7	0,39±0,08	0,31±0,04	149,3±22,9
Врожденный у взрослых, 17–30 лет	22,6±2,3	0,83±0,3	0,48±0,11	84,3±8,3
Врожденный в целом по группе, 4–30 лет	10,0±1,4	0,73±0,02	0,36±0,05	120,0±15,9
Врожденный легкой и средней степени в целом по группе, 5–30 лет	15,5±4,6	2,3±1,3	0,72±0,2	63,3±18,9
Врожденный тяжелой степени в целом по группе, 4–11 лет	5,3±0,8	0,44±0,08	0,32±0,05	102,2±10,5
Посттравматический в целом по группе, 9–56 лет	34,1±4,1 лет	1,2±0,2	0,65±0,14	76,5±10,0

Результаты определения упруго-прочностных показателей леватора при врожденном птозе у детей и взрослых свидетельствуют о достоверном увеличении модуля упругости этой мышцы и снижении ее растяжимости с возрастом (табл. 3). При этом тяжесть заболевания оказывает значительное влияние на значение этих характеристик. Сравнение исследованных механических показателей леватора при различных стадиях врожденного птоза показало нарастающее нарушение его механических свойств при тяжелом птозе по сравнению с птозом легкой и средней степени (см. табл. 3).

Так, модуль упругости и предел прочности леватора при врожденном птозе легкой и средней степени достоверно выше, чем при тяжелом птозе, а растяжимость мышцы существенно ниже ($p < 0,05$). Эти данные коррелируют с результатами, полученными при исследовании механических свойств кожи верхнего века, которые показали связь их нарушения со степенью тяжести птоза (см. рис. 1).

Наличие такой корреляции позволяет использовать данные о степени нарушения механических свойств кожи века при птозе с диагностической целью – для оценки функционального состояния леватора.

Данные табл. 3 также показывают, что при приобретенном посттравматическом птозе механические свойства леватора нарушены в гораздо меньшей степени, чем при врожденном птозе. Сравнение соответствующих показателей леватора взрослых пациентов близких возрастных групп с врожденным (22,6±2,3 г.) и посттравматическим (34,1±4,1 г.) птозом выявило их достоверные отличия: E и σ леватора при птозе травматического генеза оказались значительно выше, чем эти показатели при врожденном птозе ($p < 0,05$). Такое соотношение указанных механических характеристик вполне соответствует клинической ситуации, поскольку поражение леватора и нарушение его функции при врожденном птозе наблюдаются значительно чаще, чем при птозе травматического генеза.

Как известно, птоз часто сопровождается слабостью круговой мышцы глаза. Сочетание птоза и слабости круговой мышцы характерно для системной патологии мышц, такой как миастения (мышечная слабость), глазная форма миопатии и др. [8, 9].

Сравнение исследованных механических характеристик круговой мышцы при различных стадиях птоза показало, что тяжесть заболевания не оказывает на них значительного влияния, однако при врожденном птозе с возрастом отмечается тенденция к нарушению механических свойств этой мышцы (табл. 4).

Таблица 4

Показатели биомеханических свойств круговой мышцы при птозах

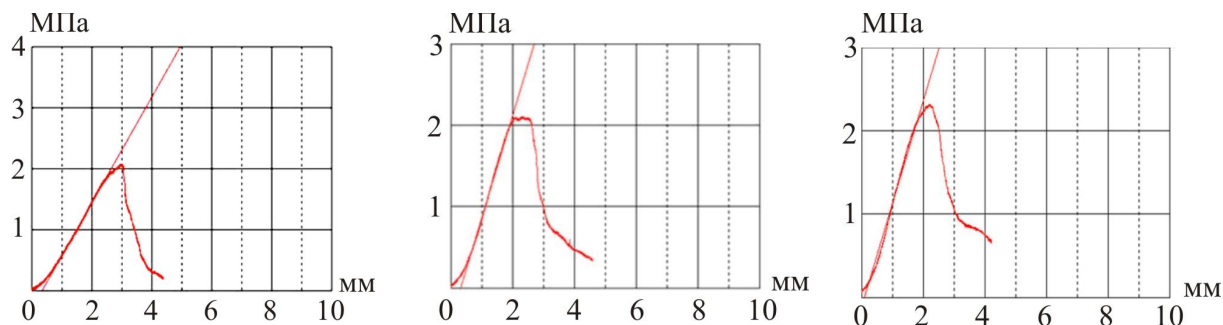
Форма и тяжесть птоза	Средний возраст, лет	E , МПа	σ , МПа	ε , %
Врожденный у детей, 4–10 лет	5,8±1,1	1,8±0,5	1,1±0,3	108,2±19,1
Врожденный у взрослых, 17–45 лет	24,1±3,1	1,2±0,2	0,9±0,2	120,2±12,8
Врожденный в целом по группе, 4–45 лет	17,1±3,2	1,4±0,3	1,0±0,2	115,6±10,4
Врожденный легкой и средней степени	27,8±6,4	1,3±0,4	1,0±0,3	114,9±11,7
Врожденный тяжелой степени	13,2±3,7	1,4±0,5	0,9±0,2	104,2±12,0
Сенильный	68,5±1,5	1,7±0,4	1,0±0,4	63,2±9,8
Блефарохалазис	56,9±3,1	1,9±0,2	1,0±0,1	82,3±10,4
Миопатия	53,3±5,9	1,4±0,4	0,7±0,2	71,3±6,0
Посттравматический	30,5±5,2	1,2±0,2	0,7±0,1	99,6±11,5

Данные, приведенные в табл. 4, показывают также, что в пределах одной и той же возрастной группы (у лиц старшего возраста) круговая мышца при миопатии характеризуется более низкими показателями, чем при блефарохалазисе.

В целом результаты механического тестирования круговой мышцы свидетельствуют о том, что ее нарушения при птозе выражены в значительно меньшей степени, чем кожи верхнего века и леватора.

Во второй части работы установлено, что рубцовые деформации оказывают различное влияние на упруго-прочностные свойства кожи верхних и нижних век, а также области брови у близких по возрастному диапазону пациентов (рис. 2, 3). Величина E рубцовоизмененной кожи в области брови у больных 26,8±5,2 г. составляет 5,2±1,7 МПа, а для кожи нижнего века (возраст пациентов – 37,8±5,4 г.) этот показатель ниже: $E = 4,3±0,8$ МПа. Еще более низкие значения модуля упругости получены при анализе кривых зависимости напряжение–деформация, соответствующих образцам рубцовоизмененной кожи верхнего века пациентов той же возрастной группы (32,2±2,7 г.): $E = 3,7±0,6$ МПа.

При этом модуль упругости образцов, соответствующих избытку кожи верхнего века (без рубца) пациентов в возрасте 49,0±3,8 г., составляет 4,9±0,6 МПа ($p < 0,05$) (см. рис. 3).



Верхнее веко $E = 3,7±0,6$ МПа, $\varepsilon = 65,7±5,5\%$ Нижнее веко: $E = 4,3±0,8$ МПа, $\varepsilon = 64,5±8,8\%$ Бровь: $E = 5,2±1,7$ МПа, $\varepsilon = 45,5±6,2\%$

Рис. 2. Примеры зависимостей напряжение–деформация, полученных для кожи век и области брови

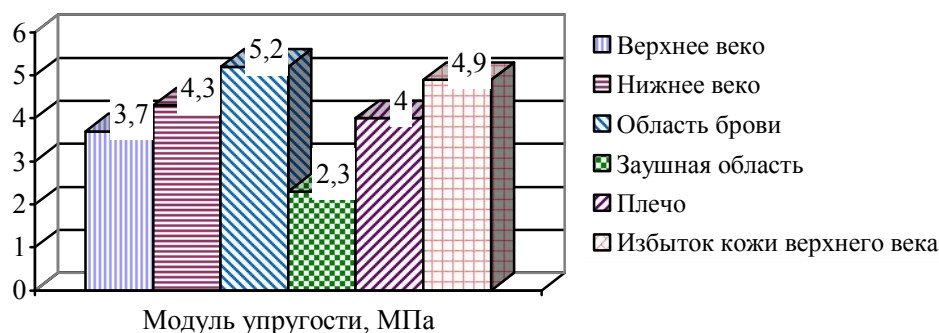


Рис. 3. Средние значения модуля упругости рубцовоизмененных тканей периорбитальной области (кожи верхнего и нижнего века, области брови), а также свободных трансплантатов (избытка кожи верхнего века, кожи внутренней поверхности плеча и заушной области)

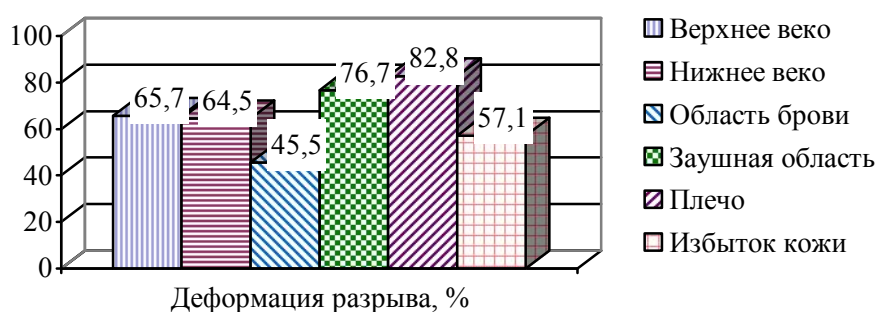


Рис. 4. Средние величины деформации разрыва рубцовоизмененных тканей периорбитальной области (кожи верхнего и нижнего века, области брови), а также свободных трансплантатов (избытка кожи верхнего века, кожи внутренней поверхности плеча и заушной области)

Важным биомеханическим показателем ткани с точки зрения ее функциональных особенностей и использования для пластики является ее растяжимость (ϵ). Выявлено, что кожа брови с рубцовыми деформациями характеризуется наименьшей растяжимостью ($p < 0,05$) в сравнении с рубцовоизмененной кожей нижнего и верхнего века: значения деформации разрыва для этих тканей составляют соответственно $\epsilon = 45,5 \pm 6,2\%$, $64,5 \pm 8,8\%$ и $65,7 \pm 5,5\%$ (см. рис. 2). Относительно высокий модуль упругости в сочетании с меньшей, чем у кожи век, растяжимостью характеризует кожу в области брови как более жесткую, чем кожа век (особенно верхнего века), биологическую ткань.

Сравнительный анализ исследованных механических характеристик тканей, используемых в качестве свободных трансплантатов (избытка кожи верхнего века, внутренней поверхности плеча и заушной области), также выявил отличия в их упруго-прочностных параметрах (рис. 3, 4). Так, значение E кожи внутренней поверхности плеча составляет $4,0 \pm 0,5$ МПа, что близко к значениям данного показателя избытка кожи верхнего века ($4,9 \pm 0,7$ МПа) и рубцовоизмененной кожи нижнего века ($4,3 \pm 0,8$ МПа). В то же время E кожи заушной области ($2,3 \pm 0,4$ МПа) достоверно ниже всех этих показателей ($p < 0,05$).

Растяжимость кожи нижнего века ($\epsilon = 64,5 \pm 8,8\%$) ближе к соответствующему параметру избытка кожи верхнего века ($57,1 \pm 4,6\%$) ($p > 0,05$), что в совокупности с близкими значениями модуля упругости этих тканей обосновывает целесообразность использования избытка кожи верхнего века для реконструктивной пластики рубцовых деформаций нижнего века. При отсутствии такой возможности наиболее адекватной заменой может служить кожа внутренней поверхности плеча, близкая к нижнему веку по модулю упругости.

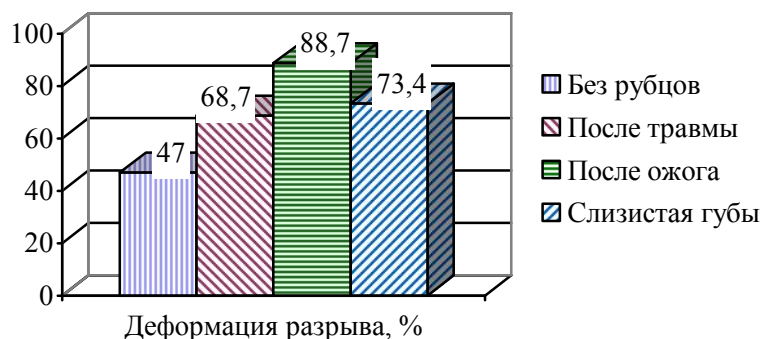


Рис. 5. Средние величины деформации разрыва конъюнктивы (после травмы без рубцов, после травмы с рубцами, после ожога с рубцами) и аутослизистой губы

Для реконструкции рубцовоизмененной кожи верхнего века ($\epsilon = 65,7 \pm 5,5\%$), очевидно, целесообразно использовать избыток кожи верхнего века ($\epsilon = 57,1 \pm 4,6\%$) или кожу заушной области ($\epsilon = 76,7 \pm 14,4\%$), поскольку показатели деформации разрыва этих тканей достоверно не различаются ($p > 0,05$). И хотя значение модуля упругости кожи заушной области ($2,3 \pm 0,4$ МПа) ниже, чем рубцовоизмененной кожи верхнего века ($3,7 \pm 0,6$ МПа), для данной ткани более функционально важным параметром является эластичность, поэтому с точки зрения биомеханического соответствия в качестве первого выбора целесообразно использовать избыток кожи парного верхнего века или кожу заушной области, а при отсутствии такой возможности – кожу внутренней поверхности плеча, характеризующуюся сходным с кожей верхнего века модулем упругости ($4,0 \pm 0,5$ МПа), но более высокой растяжимостью ($82,8 \pm 8,6\%$) (см. рис. 3, 4).

Сравнительный анализ биомеханических свойств конъюнктивы показал их зависимость от вида повреждения – травматического или ожогового. Модуль упругости конъюнктивы глаз с последствиями травмы при отсутствии рубцовых изменений составляет $0,7 \pm 0,2$ МПа. Этот показатель оказался в 2 раза ниже, чем у рубцовоизмененной конъюнктивы глаз с травматическим повреждением: $E = 1,9 \pm 0,4$ МПа ($p < 0,05$) и в 5 раз ниже, чем у рубцовоизмененной конъюнктивы с последствиями ожога: $E = 3,8 \pm 2,0$ МПа ($p < 0,02$). Полученные данные демонстрируют возрастание жесткости конъюнктивальной ткани при формировании рубцов, вызванных травмой и еще в большей степени вызванных ожоговым повреждением: наибольшей жесткостью характеризуется конъюнктура с рубцами, вызванными ожогом, а наименьшей – конъюнктура глаз с травматическими повреждениями, но без рубцовых изменений.

Механические испытания показали, что модуль упругости слизистой оболочки губы, составляющий $2,2 \pm 0,3$ МПа, ближе всего по величине к соответствующему показателю рубцовоизмененной конъюнктивы глаз с травматическим повреждением ($1,9 \pm 0,4$ МПа) ($p > 0,05$). В то же время он достоверно выше аналогичного показателя, определенного для конъюнктивы без рубцов ($0,7 \pm 0,2$ МПа), и ниже модуля упругости рубцовоизмененной конъюнктивы с исходом ожога ($3,8 \pm 0,2$ МПа) ($p < 0,02$).

Как было отмечено выше, важным механическим показателем ткани в отношении ее использования для пластики является растяжимость (ϵ). Выявлено, что для слизистой оболочки губы данный показатель составляет $\epsilon = 73,4 \pm 7,5\%$; он практически не отличается от ϵ рубцовоизмененной конъюнктивы глаз с последствиями травмы ($68,7 \pm 14,1\%$) и ожогового повреждения ($88,7 \pm 24,6\%$) ($p > 0,05$), но достоверно выше, чем у травматической конъюнктивы без рубцовых изменений ($47,0 \pm 5,5\%$, $p < 0,02$) (рис. 5).

Близкие значения растяжимости рубцовоизмененной конъюнктивы и слизистой губы свидетельствуют о целесообразности использования данной аутокани для пластики конъюнктивальной полости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, упруго-прочностные свойства тканей верхнего века отличаются у пациентов различного возраста с разными формами птоза и различной выраженностью поражения. Врожденный птоз в целом характеризуется более существенными нарушениями механических свойств кожи верхнего века, чем приобретенный птоз, как у детей, так и у взрослых, однако связь между степенью клинической выраженности патологии и изменением механических показателей сильнее проявляется при приобретенном птозе нетравматического генеза. При птозе, связанном с блефарохалазисом, выявлена значительная потеря эластичности кожи верхнего века, а при сенильном птозе механические нарушения носят несколько другой характер, что свидетельствует, очевидно, о различии в патогенетической основе этих состояний. Наибольшие различия в упруго-прочностных свойствах кожи века выявляются при сравнении показателей, соответствующих птозу травматического и нетравматического генеза, что, по-видимому, связано с наличием в большинстве случаев посттравматического птоза рубцовых деформаций тканей века, значительно снижающих их упругие свойства.

Сравнительное изучение механических показателей леватора при врожденном птозе легкой, средней и тяжелой степени показало нарастающее нарушение его биомеханических свойств по мере усиления выраженности патологии. Эти данные коррелируют с результатами, полученными при исследовании механических свойств кожи верхнего века, которые показали связь их нарушения со степенью тяжести птоза. Наличие такой корреляции позволяет использовать данные о степени нарушения механических свойств кожи века при птозе с диагностической целью – для оценки функционального состояния леватора. При этом при приобретенном посттравматическом птозе механические свойства леватора, опосредованно отражающие его сократительную способность, нарушены в гораздо меньшей степени, чем при врожденном птозе. Такое соотношение указанных механических характеристик вполне соответствует клинической ситуации, поскольку поражение леватора и нарушение его функции при врожденном птозе наблюдается значительно чаще, чем при птозе травматического генеза. Результаты механического тестирования круговой мышцы свидетельствуют о том, что ее механические нарушения при птозе выражены в значительно меньшей степени, чем кожи верхнего века и леватора. Полученные результаты, на взгляд авторов, могут быть полезны для создания новых методов объективной количественной диагностики различных форм птоза и оценки степени его тяжести, а также для разработки новых эффективных методов хирургической коррекции данной патологии.

Проведенные исследования показали также, что механические свойства рубцовоизмененной кожи верхнего и нижнего века, а также окружающих участков (в частности области брови) различны. Наибольшей жесткостью характеризуется кожа в области бровей, а наименьшей – в области верхнего века. Растяжимость кожи нижнего века ближе к соответствующему параметру избытка кожи верхнего века, что в совокупности с близкими значениями модуля упругости этих тканей обосновывает целесообразность использования избытка кожи верхнего века для реконструктивной пластики рубцовых деформаций нижнего века. При отсутствии такой возможности наиболее адекватной заменой может служить кожа внутренней поверхности плеча, близкая к нижнему веку по модулю упругости. Для реконструкции рубцовоизмененной кожи верхнего века, очевидно, целесообразно использовать избыток кожи парного верхнего века или кожу заушной области, а при отсутствии такой возможности – кожу внутренней поверхности плеча.

Сравнительный анализ механических свойств конъюнктивы показал их зависимость от вида повреждения – травматического или ожогового. При формировании рубцов, вызванных травмой или ожоговым повреждением, жесткость конъюнктивальной ткани увеличивается: наибольшей жесткостью характеризуется конъюнктивальная ткань с рубцами, вызванными ожогом, а наименьшей – конъюнктивальная ткань с травматическими повреждениями, но без рубцовых изменений. Близкие значения растяжимости рубцовоизмененной конъюнктивы и слизистой оболочки губы свидетельствуют о целесообразности использования данной аутооткани для пластики конъюнктивальной полости. В целом соответствие ключевых биомеханических параметров реконструируемой и трансплантируемой ткани может служить критерием для выбора наиболее адекватного трансплантата при реконструктивном лечении рубцовых деформаций периорбитальной области, что, в свою очередь, позволит повысить эффективность хирургической реабилитации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азнабаев М.Т., Суркова В.К., Жуманиязов А.Ж. Первичная блефаропластика при опухолях век у детей // Офтальмохирургия. – 2002. – № 3. – С. 33–36.
2. Воронков В.Н. Исследование механических свойств кожи человека в норме и при патологических состояниях: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Пушино, 1993 – 21 с.
3. Гребенюк Л.А., Утёнкин А.А. Механические свойства кожного покрова человека // Физиология человека. – 1994. – № 2. – С. 157–162.
4. Гундорова Р.А., Быков В.П., Катаев М.Г., Филатова И.А. Основные направления в пластической хирургии // Пластическая хирургия придаточного аппарата глаза и орбиты: материалы науч.-практ. конф. – М., 1996. – С. 5–7.
5. Гундорова Р.А., Друянова Ю.С., Вериго Е.Н., Мухарьямова А.Е. Профилактика и лечение конъюнктивитов при анофтальме // Офтальмологический журнал. – 1988. – № 5. – С. 273–275.
6. Гундорова Р.А., Морозова О.Д. Разработка методов восстановления конъюнктивальной полости при анофтальме: методические рекомендации. – М., 1980. – 18 с.
7. Журавлев А.И., Южно М.В. Оптические индикаторы для кожной офтальмопластики // Окулист. – 2003. – № 12 (52). – С. 6–8.
8. Зайкова М.В. Пластическая офтальмохирургия. – М.: Медицина, 1980. – 207 с.
9. Иомдина Е.Н. Механические свойства тканей глаза человека // Современные проблемы биомеханики. – 2006. – Вып. 11. – С. 183–200.
10. Катаев М.Г. Опыт пластических операций на придаточном аппарате глаза // Вестник офтальмологии. – 1986. – № 2. – С. 38–41.
11. Катаев М.Г., Кирюхина С.Л. Пластика конъюнктивальной полости при анофтальме: методические рекомендации. – М., 1991. – 16 с.
12. Кошарная Н.В. Глазное протезирование: практическое пособие для окулистов и глазопротезистов. – Харьков, 1996. – 83 с.
13. Красников П.Г. Результаты восстановительных пластических операций с пересадкой аутооткани при недостаточном количестве конъюнктивального мешка для ношения протеза // Офтальмологический журнал. – 1984. – № 3. – С. 154–157.
14. Миллюдин Е.С. Пластическая хирургия век: автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Самара, 1994. – 20 с.
15. Обрубов С.А. Аккомодация в концептуальном поле акустической биомеханики глаза // Биомеханика глаза–2005: сб. тр. конф. – 2005. – С. 63–65.
16. Оруджов Н.З. Хирургическое лечение птоза верхнего века на основе динамометрических исследований: автореф. дис. ... канд. мед. наук. – М., 2010. – 24 с.
17. Тихомирова Н.М. Восстановительные операции конъюнктивальной полости при анофтальме: автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Уфа, 1970. – 28 с.
18. Федоров А.Е., Самарцев В.А., Кириллова Т.А. О механических свойствах кожи человека // Российский журнал биомеханики. – 2006. – Т. 10, № 2. – С. 29–42.
19. Филатова И.А. Анофтальм. Патология и лечение. – М., 2007. – С. 92–113.
20. Cua B., Wilhelm K.-P., Maibach H.I. Elastic properties of human skin: relation to age, sex, and anatomical region // Archives of Dermatological Research. – 1990. – Vol. 282, No. 5. – P. 283–288.
21. Custer P.L., Harvey H. The arm as a skin graft donor site in eyelid reconstruction // Ophthal. Plast. Reconstr. Surg. – 2001. – Vol. 17. – P. 427–430.
22. Daly C.H., Odland G.F.J. Age-related changes in the mechanical properties of human skin // Invest. Dermatol. – 1979. – Vol. 73, No. 1. – P. 84–87.

23. Flanagan J.G. Chapter 13. Loss of the lower cul-de-sac // *Oculoplastic Surgery*. – St. Louis, 1970. – P. 825–833.
24. Leveque J.L., Corcuff P., de-Rigal J., Agache P. *In vivo* studies of the evolution of physical properties of the human skin with age // *Int. J. Dermatol.* – 1984. – Vol. 23, No. 5. – P. 322–329.
25. Pierard G.E., Nikkels-Tassoudji N., Pierard-Franchimont C. Influence of the test area on the mechanical properties of skin // *Dermatology*. – 1995. – Vol. 191, No. 1. – P. 9–15.
26. Vogel H.G. Age-dependent changes in skin biomechanics, measurements in vitro and in vivo // *Z-Gerontol.* – 1994. – Vol. 27, No. 3. – P. 182–185.

ELASTIC AND TENSILE STRENGTH PROPERTIES OF PERIORBITAL TISSUES IN VARIOUS OPHTHALMOPATHOLOGIES

E.N. Iomdina, I.A. Filatova, D.N. Sitnikova (Moscow, Russia)

A comparative study was done on the elastic and tensile strength properties of the upper eyelid tissues (the skin, the levator, the circular muscle) in its lowering (ptosis), the skin of the lower and the upper eyelids, brow area and conjunctiva with scar deformations and free grafts (surplus eyelid skin, behind-the-ear skin and inner humerus surface skin, lip mucosa) used for reconstructive and plastic surgery. The results of mechanical testing of 400 samples of these tissues obtained during surgical treatment of ptosis and traumatic injuries in 194 patients aged from 3 to 80 years are presented. Features associated with age, severity of ptosis and the type of traumatic injury are revealed. We established the correspondence between the key biomechanical parameters of the reconstructed and the transplanted tissue, which can serve as a criterion for selecting the most appropriate graft for reconstructive treatment of scar deformations of the periorbital region.

Key words: mechanical properties, eyelid skin, periorbital region, conjunctiva, scar deformation, levator, ptosis.

Получено 17 апреля 2012