

*Сведения об авторах статьи:*

**Аль-Саггаф Сами Абдулрахман Хусейн** – аспирант кафедры ортопедической стоматологии ГБОУ ВПО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450000, г. Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: saggaf@mail.ru.

**Манианова Флора Фатыховна** – д.м.н., профессор, зав. кафедрой ортопедической стоматологии ГБОУ ВПО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450000, г. Уфа, ул. Ленина, 3. Тел./факс: 8(347)273-89-27. E-mail: flora\_man@mail.ru.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Зизевский, С.А. Ортопедическое лечение дисфункции височно-нижнечелюстного сустава: дисс. ... канд. мед. наук. – Казань, 1989. – 142 с.
2. Иорданишвили, А.К. Клиническая ортопедическая стоматология. – М.: МЕДпресс-информ, 2007. – 248 с.
3. Каламкаргов, Х.А. Ортопедическое лечение патологической стираемости твердых тканей зубов. – М.: МИА, 2004. – 176 с.
4. Кироскоян, К.М. Ортопедическое лечение при дисфункции ВНЧС у больных с патологической стираемостью зубов: автореф. дисс. ... канд. мед. наук. – М, 1991. – 25 с.
5. Лебеденко, И.Ю. Повышенная стираемость зубов // Медицинская газета. – 2000. – №3.
6. Современные представления о механизме развития ранней стадии повышенной стираемости зубов / Ю.В. Мандра, [и др.] // Проблемы стоматологии. – 2011. – №2. – С.10-15.
7. Трезубов, В.Н. Клиническая картина и ортопедическое лечение при повышенной стираемости зубов / В.Н. Трезубов, А.С. Щербачев // Ортопедическая стоматология (факультетский курс): учебник для медвузов. – СПб: Фолиант, 2002. – С.283-290.
8. Bartlett D.V. The role of erosion in tooth wear: aetiology, prevention and management. / D.V. Bartlett // International Dental Journal. – 2005. – №55. – P.277-284.
9. Lussi A. Erosive tooth wear-a multifactorial condition of growing concern and increasing knowledge // Monogr. Oral Sci. – 2006. – Vol.20. – P.1-8.
10. Young W.G. Footh wear: diet analysis and advice // Jnt. Dent.J. – 2005. – Vol.55. – №2. – P.68-72.

УДК 611.728.3:612.76:612.64.

© Э.Х. Ахметдинова, В.Ш. Вагапова, О.Х. Борзилова, 2014

Э.Х. Ахметдинова, В.Ш. Вагапова, О.Х. Борзилова  
**БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕСТ ФИКСАЦИИ СВЯЗОК КОЛЕННОГО  
 СУСТАВА У ПЛОДОВ И НОВОРОЖДЁННЫХ ДЕТЕЙ**  
*ГБОУ ВПО «Башкирский государственный медицинский университет»  
 Минздрава России, г. Уфа*

Выяснение вопросов морфогенеза сустава возможно лишь путем определения закономерностей формообразования и становления его элементов. Сведения о прочностных свойствах мест начала и прикрепления связок коленного сустава имеют значение для суждения о функциональной морфологии сустава и его адаптивных возможностей после рождения. С этих позиций прочностные свойства крестообразных и коллатеральных связок были изучены на 100 плодах человека и новорождённых с использованием морфологических и биомеханических методов. Выявлены периоды усиленного развития отдельных связок; установлено, что формирование крестообразных связок в плодном периоде, в отличие от коллатеральных связок, происходит постепенно, определена взаимосвязь между фибро- и цитоархитектоникой исследованных структур и их прочностными свойствами. Чем меньше волокнистых элементов в концевых зонах связок и больше рыхлой соединительной ткани, тем меньше прочность связки. Установленные нами данные о средних величинах площади и пределах прочности мест фиксации укрепляющих структур коленного сустава важны с точки зрения определения индивидуальной изменчивости и выявления их дисплазий, предрасполагающих к суставной патологии.

**Ключевые слова:** коленный сустав, крестообразные связки, коллатеральные связки, биомеханические свойства.

E.R. Akhmetdinova, V.Sh. Vagapova, O.Kh. Borzilova  
**BIOMECHANICAL PROPERTIES OF THE PLACES OF KNEE JOINT LIGAMENTS  
 FIXATION IN FETUSES AND NEWBORNS**

Clarification of the joint morphogenesis questions is possible only by means of determination of morphogenesis laws and formation of its elements. The data about strength properties of the fixation places of the knee joint ligaments are important for judgment about knee joint functional morphology and its adaptive possibilities after birth. From these positions, strength properties of the cruciate and collateral ligaments were studied on 100 fetuses and newborns using morphological and biomechanical methods of investigation. The periods of intensive development of knee joint ligaments have been revealed; it has been established that formation of the cruciate ligaments occurs gradually in contrast with collateral ones; interrelations between fibro-, cytoarchitectonics and durability of the studied structures have been identified. The lesser fiber elements and the more soft connective tissue are on the terminal zones of the ligaments, the lesser is the durability of the ligaments. Our data on the average sizes of surface and on the durability of the fixation of the knee joint ligaments are important from the point of view of studying of the individual peculiarities and displacements determination, which may cause joint pathology.

**Key words:** knee joint, cruciate ligaments, collateral ligaments, biomechanical properties.

Выяснение вопросов морфогенеза сустава возможно лишь путем определения закономерностей формообразования и становления его элементов. С этих позиций большой интерес представляет знание особенностей функциональной морфологии связок коленного сустава в различные периоды внутри- и утробного развития [1,2,3,6]. Исследование упругопрочностных свойств элементов коленного сустава у взрослых людей имеет большое значение. Этими вопросами занимались как отечественные [4,5,7], так и зарубежные ученые [8,9,10], которые показали функциональную взаимозависимость мышечных,

капсулярных и связочных структур, входящих в состав коленного сустава. Однако возрастные особенности биомеханических показателей внутри- и внесуставных связок коленного сустава, в том числе и в пренатальном онтогенезе, остаются малоизученными. Лишь в работе А.Е. Стрижкова (1992) описаны различные показатели упругопрочностных свойств средней зоны связок у плода человека в разный гестационный возраст. При этом биомеханические свойства их мест фиксации остаются неизученными. Исходя из этого, а также учитывая большую значимость знаний упругопрочностных свойств переходных зон связок как для понимания закономерностей формообразования и тенденций становления, так и их функциональных особенностей в пре- и неонатальном онтогенезе, целью нашей работы было исследование прочностных свойств мест фиксации укрепляющих структур коленного сустава – мест начала и прикрепления передней и задней крестообразных связок (ПКС и ЗКС), большеберцовой и малоберцовой коллатеральных (КБС и КМС) связок в пренатальном онтогенезе и у новорожденных детей, а также установление локализации их повреждения при проведении биомеханических испытаний.

#### **Материал и методы**

Объектом исследования были коленные суставы от 100 трупов плодов человека 24-40 недель развития, полученных в результате медицинских аборт и преждевременных родов от здоровых матерей, и 10 трупов новорожденных детей без патологии опорно-двигательного аппарата. Из каждой связки в месте ее фиксации к хрящу бедренной кости и к костям голени при помощи фигурного пресс-ножа [4] изготавливались модели для проведения биомеханических испытаний. Они имели стандартную рабочую часть и усиленные концевые фрагменты. Начальная длина и ширина рабочей части образца были равны 3 мм и 1 мм соответственно, а начальная толщина в каждом случае определялась дополнительно.

Биомеханические испытания зон фиксации связок к хрящевым эпифизам бедренной кости и костей голени проводились при одноосном растяжении на разрывной машине М-40 при постоянной скорости деформации (30 мм/мин). Регистрировались предельные значения нагрузки и удлинения, велась графическая запись диаграммы растяжения, показывающая зависимость силы сопротивления образца от изменения абсолютной деформации. Эти значения служили для расчета относительных параметров, характеризующих биомеханические

свойства терминальных отделов связок: напряжения в образце и предела прочности. Локализация повреждения связок коленного сустава плодов и новорожденных детей у мест их фиксации определялась макромикроскопическим методом. Фиброархитектоника мест начала и прикрепления фрагментов «хрящ-связка» изучена методом окраски срезов толщиной 7-10 мкм гематоксилином и эозином, по Харту и Ван-Гизону. Статистическая обработка цифровых данных осуществлена с использованием программы Excel на предмет установления среднестатистических показателей и их достоверности: были получены средние значения величины площадей начала и прикрепления, предела прочности связок у мест их фиксации и построены графики.

#### **Результаты**

В ходе проведенных испытаний нами установлена различная локализация повреждения в местах фиксации крестообразных и коллатеральных связок.

Полученные данные биомеханических испытаний каждого комплекса «хрящ-связка» показывают, что разрыв образца локализуется в разных зонах: или в концевом отделе связки, или в зоне волокнистого хряща, или в зоне гиалинового хряща. Нами также выявлено, что локализация места разрыва образца зависит от возраста плода. В ранние сроки развития (24-33 недели) в структуре повреждений преобладает отрыв в зоне волокнистого хряща, а в более поздние сроки внутриутробной жизни (36-40 недель) и у новорожденных детей чаще наблюдается отрыв связки с фрагментом хряща. Такой характер повреждения можно объяснить усложнением фиброархитектоники мест фиксации связок.

Анализ полученных данных показывает, что в период внутриутробного развития прочностные свойства мест фиксации связок коленного сустава меняются неравномерно и имеют тенденцию к нарастанию, достигая наибольших значений к моменту рождения. Это можно связать с процессом морфофункциональной перестройки волокнистых структур. На ранних сроках развития (20-24 недели) коллагеновые волокна на границе связки и волокнистого хряща начинают формировать пучки первого порядка разной длины и толщины; к моменту рождения количество их возрастает. Часть волокон проникает в зону волокнистого хряща, а некоторые из них и в поверхностные слои гиалинового хряща. У плодов 4-х месяцев внутриутробного развития в местах фиксации связок возрастает количество эластических волокон, которые имеют

разное строение и расположение. Плотность клеточных элементов на единицу площади постепенно уменьшается.

По нашим данным, места начала и прикрепления вне- и внутрисуставных связок коленного сустава у плодов и новорожденных детей отличаются гетерохронностью прироста и становления прочностных показателей, т.е. они претерпевают этапы как постепенного и усиленного подъема, так и периоды спада темпов развития. По показателям предела прочности в период внутриутробного развития отличаются проксимальный и дистальный отделы одной и той же связки. Так, значительное увеличение предела прочности дистального конца ПКС определяется у плодов с 28-й по 34-ю недели развития (с  $1,33 \pm 0,17$  МПа до  $3,23 \pm 0,32$  МПа); у проксимального конца ПКС – с 36-й недели: с  $4,01 \pm 0,38$  МПа до  $6,60 \pm 0,61$  МПа у новорожденных; у дистального конца ЗКС – с 35-й недели и до рождения: с  $3,28 \pm 0,30$  МПа до  $5,71 \pm 1,51$  МПа, а у проксимального конца лишь с 38-й недели: с  $5,34 \pm 0,57$  МПа до  $7,57 \pm 0,95$  МПа (рис.1).

У внесуставных связок наблюдается более интенсивный рост показателей предела прочности в следующие периоды: у проксимального конца КБС подъем отмечается с 32-й недели (с  $1,65 \pm 0,29$  МПа до  $4,15 \pm 0,55$  МПа), у дистального конца КБС значение предела прочности увеличивается: к 26-27-й неделям

по сравнению с таковым у плодов 24-25-й недель почти в два раза и составляет  $12,53 \pm 2,93$  МПа, второй подъем значений происходит к 38-39-й неделям до  $17,89 \pm 2,29$  МПа; у проксимального конца КМС – с 24- по 27-ю неделю с  $1,68 \pm 0,29$  МПа до  $2,35 \pm 0,45$  МПа, а начиная с 31-й недели до рождения прирост происходит более постепенно: с  $2,01 \pm 0,31$  до  $3,52 \pm 0,32$  МПа; у дистального конца КМС начиная с 34-й недели и до рождения происходит плавное нарастание с  $2,31 \pm 0,35$  до  $2,93 \pm 0,24$  МПа (см. таблицу).

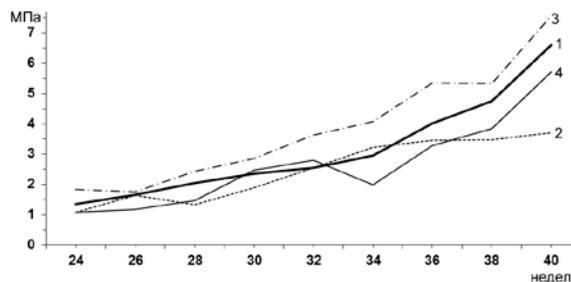


Рис. 1. Возрастная динамика изменения предела прочности мест начала и прикрепления передней (1 и 2 соответственно) и задней (3 и 4 соответственно) крестообразных связок коленного сустава плодов и новорожденных

Анализ наших данных свидетельствует, что прочность мест фиксации связок коленного сустава у плодов зависит также от величины их площади. При сравнении показателей можно отметить, что увеличение этих параметров происходит почти одновременно.

Таблица

Предел прочности мест фиксации ( $X \pm S_x$ ) коллатеральных связок коленного сустава плодов и новорожденных детей, МПа

Возраст плода, неделя	Места фиксации связок			
	Большеберцовая коллатеральная связка		Малоберцовая коллатеральная связка	
	к бедренной кости	к большеберцовой кости	к бедренной кости	к большеберцовой кости
24 -25	$1,41 \pm 0,23$	$6,34 \pm 2,16$	$1,68 \pm 0,29$	$2,55 \pm 0,46$
26 -27	$1,97 \pm 0,31$	$12,53 \pm 2,98$	$2,35 \pm 0,45$	$2,99 \pm 0,71$
28 - 29	$1,42 \pm 0,26$	$13,43 \pm 2,66$	$2,22 \pm 0,36$	$2,46 \pm 1,00$
30 -31	$1,69 \pm 0,49$	$14,07 \pm 3,73$	$2,01 \pm 0,34$	$2,87 \pm 1,10$
32 - 33	$1,65 \pm 0,29$	$16,45 \pm 4,14$	$2,77 \pm 0,32$	$2,21 \pm 0,43$
34 -35	$2,26 \pm 0,28$	$13,31 \pm 1,74$	$2,52 \pm 0,23$	$2,31 \pm 0,35$
36 - 37	$2,42 \pm 0,22$	$13,57 \pm 2,05$	$3,21 \pm 0,34$	$2,51 \pm 0,43$
38 - 39	$3,06 \pm 0,86$	$17,89 \pm 2,29$	$3,26 \pm 0,70$	$2,57 \pm 0,57$
40 неделя – новорожденный	$4,15 \pm 0,55$	$15,32 \pm 1,70$	$3,52 \pm 0,32$	$2,93 \pm 0,24$

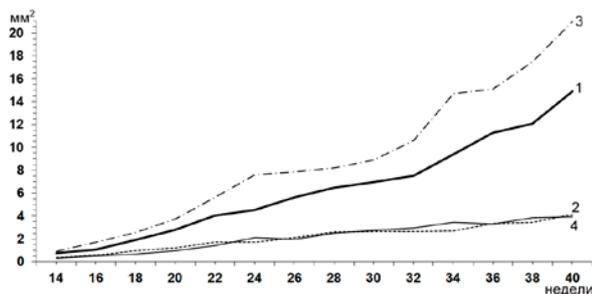


Рис. 2. Возрастная динамика изменения площади начала и прикрепления передней (1 и 2 соответственно) и задней (3 и 4 соответственно) крестообразных связок коленного сустава плодов и новорожденных

Так, наибольшие значения площади и предела прочности у новорожденных детей обнаруживаются у места начала ЗКС от бедренной кости: при величине площади в  $20,97 \pm 0,692$  мм<sup>2</sup> предел прочности составляет  $7,57 \pm 0,95$  МПа, ПКС –  $14,91 \pm 0,725$  мм<sup>2</sup> и  $6,60 \pm 0,83$  МПа соответственно (рис. 2).

Самый низкий предел прочности выявляется у мест фиксации КМС: у проксимального конца ( $2,49 \pm 0,454$  мм<sup>2</sup> и  $3,52 \pm 0,32$  МПа), у дистального конца ( $1,49 \pm 0,129$  мм<sup>2</sup> и  $2,93 \pm 0,24$  МПа) (рис.3).

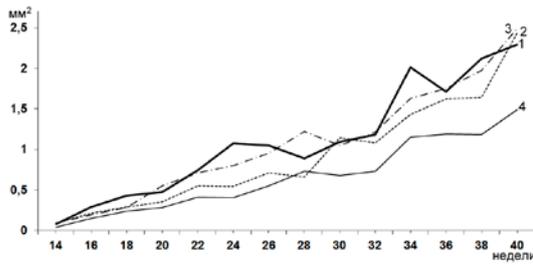


Рис. 3. Возрастная динамика изменения площади начала и прикрепления большеберцовой (1 и 2 соответственно) и малоберцовой (3 и 4 соответственно) коллатеральных связок коленного сустава плодов и новорожденных

Таким образом, динамика изменений прочностных свойств мест фиксации связок коленного сустава человека в пренатальном

онтогенезе связана с усложнением волокнистой структуры связок и имеет тенденцию к нарастанию вместе с увеличением площади фиксации к концу внутриутробного развития, отражая готовность сочленения к функциональным нагрузкам после рождения. Установленные нами средние величины значений площадей начала и прикрепления, строения связок в местах их фиксации, а также предела прочности представляют интерес не только в плане определения закономерностей, но и с позиций изучения их индивидуальной изменчивости и выявления их дисплазий, предрасполагающих к суставной патологии.

#### Сведения об авторах статьи:

**Ахметдинова Эльвира Халитовна** – к.м.н., доцент кафедры анатомии человека ГБОУ ВПО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450000, г. Уфа, ул. Ленина 3. Тел./факс: 8(347)272-58-81

**Вагапова Василия Шарифьяновна** – д.м.н., профессор, зав. кафедрой анатомии человека ГБОУ ВПО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450000, г. Уфа, ул. Ленина 3. Тел./факс: 8(347)272-58-81

**Борзилова Ольга Хамзиновна** – к.м.н., доцент кафедры анатомии человека ГБОУ ВПО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450000, г. Уфа, ул. Ленина 3. Тел./факс: 8(347)272-58-81.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ахметдинова, Э.Х. Фиброархитектоника мест фиксации коллатеральных и крестообразных связок коленного сустава человека в пренатальном онтогенезе // Заболевания суставов и современные методы лечения: труды II научно-практ. конференции. – Ульяновск, 2001. – С.18-19.
2. Вагапова, В.Ш. Развитие суставов в онтогенезе // Морфология. – 2002. – Т. 121, вып. 2-3. – С. 29.
3. Вагапова, В.Ш. Функциональная морфология коленного сустава // Медицинский вестник Башкортостана. – 2007. – Т. 2, № 5. – С. 69-74.
4. Вагапова, В.Ш. Гистотопография и прочностные свойства менисков коленного сустава человека / В.Ш. Вагапова, Д.Ю. Рыбалко, О.В. Самоходова // Медицинский вестник Башкортостана. – 2007. Т. 2. – № 3-4. – С. 96-100.
5. Галлямов, М. М. Фиброархитектоника, биомеханические свойства и микровазкуляризация крестообразных и коллатеральных связок коленного сустава: автореф. дисс. ... канд. мед. наук. – Ярославль, 1989. – 23 с.
6. Павлова, В.Н. Хрящ/ Павлова В.Н., Копьева Т.Н., Слуцкий Л.И., Павлов Г.Г. – М.: Медицина, 1988. – 320 с.
7. Стрижков, А.Е. Строение и биомеханические свойства связочного аппарата в пренатальном онтогенезе: автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Уфа, 1992. – 16 с.
8. Sepulchre P. Biomechanics of the posterior cruciate ligament of the knee // Acta Orthop. Belg., 1986. Vol. 52 (4). – P. 437.
9. Vahey J.W., Draganich L.F. Tensions in the anterior and posterior cruciate ligaments of the knee during passive loading: predicting ligaments loads from in situ measurement // J.Orthop.Res., 1991. – Vol. 9 (4). – P. 529-538.
10. Wagner M. Functional anatomy of the knee joint // Orthopade, 1987. – Vol. 16 (2). – P. 88-99.