

РОЛЬ ПРОПРИОЦЕПЦИИ В МЕХАНИЗМЕ ДВИЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЕЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОСЛЕ РАЗРЫВА ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ И МЕНИСКА КОЛЕННОГО СУСТАВА

Федулова Д.В.¹, Бердюгин К.А.^{2,3}

¹ИФКСиМП ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: darya-fedulova@yandex.ru;

²ГБУЗ СО «ЦСВМП «Уральский институт травматологии и ортопедии имени В.Д. Чаклина», Екатеринбург, e-mail: kiralber73@rambler.ru;

³ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, Екатеринбург

В статье рассматриваются процессы изменения проприоцепции после сочетанной травмы передней крестообразной связки и мениска коленного сустава. В выявленных научных противоречиях о степени влияния травмы на состояние проприоцепции отмечается отсутствие единого мнения о двигательной чувствительности пораженного сегмента и целостного воздействия на организм. Для разрешения спорности позиций общий алгоритм реабилитации был дополнен баланс-тренингом, который проводили с 5-й недели после операции (с 5-й недели упражнения на статическое равновесие и с 9-й недели – на динамическое) на твердой и нестабильной опоре, а также с помощью дополнительного спортивного инвентаря. В качестве теста оценки применялось активное и пассивное отведение конечности на различные углы сгибания в коленном суставе и с задачей воспроизведения отведенной позиции. Результаты исследования показали, что проприоцепция после сочетанной травмы передней крестообразной связки и мениска коленного сустава имеет худшие показатели на травмированной конечности, т.е. одностороннее влияние травмы на состояние двигательной чувствительности; однако при целенаправленной работе баланс-тренингом данные показатели значительно улучшаются, и дисбаланс между конечностями становится минимальным.

Ключевые слова: проприоцепция, двигательная чувствительность, коленный сустав, восстановление ПКС, физическая реабилитация, афферентные связи.

THE ROLE OF PROPRIOCEPTION IN THE MECHANISM OF HUMAN MOVEMENT AND ITS RECOVERY AFTER RUPTURE OF THE ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT AND MENISCUS OF THE KNEE JOINT

Fedulova D.V.¹, Berdyugin K.A.^{2,3}

¹Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, e-mail: darya-fedulova@yandex.ru;

²Ural Institute of traumatology and orthopedics named after V.D. Chaklin, Ekaterinburg, e-mail: kiralber73@rambler.ru;

³Ural State Medical University, Ekaterinburg

The article deals with the processes of changing proprioception after a combined trauma of the anterior cruciate ligament and meniscus of the knee joint. In the revealed scientific contradictions on the degree of influence of trauma on the state of proprioception, there is a lack of consensus on the motor sensitivity of the affected segment and the holistic effect on the body. To resolve the controversial positions, the overall rehabilitation algorithm was supplemented by a balance-training exercise that was conducted from 5 weeks after surgery (from 5 weeks of exercise to static equilibrium and from 9 weeks to dynamic) on a firm and unstable support, and also with the help of additional sports equipment. And as an assessment test, active and passive retraction of the limb to various angles of flexion in the knee joint and with the task of reproducing the retracted position was used. The results of the study showed that proprioception after a combined trauma of the anterior cruciate ligament and knee joint meniscus has the worst results on the injured limb, that is, the unilateral effect of the injury on the state of motor sensitivity; however, with the purposeful work of balance-training, these indicators significantly improve and imbalance between the limbs becomes minimal.

Keywords: proprioception, motor sensitivity, knee joint, ACL recovery, physical rehabilitation, afferent connections.

Научная разработка физиологии двигательного акта начинается с трудов британского физиолога Чарльза Белла (1774-1842), который высказал мысль о том, что мышечная система

представляет собой не только рабочий эффекторный аппарат, но и является своеобразным органом чувств. Благодаря наличию двусторонней (афферентной и эффекторной) нервной связи между мозгом и мышцами создается своего рода замкнутый круг, в котором центробежные импульсы приводят в движение мышечный аппарат, а центростремительные импульсы, возникающие в самих мышцах, информируют мозг о текущих состояниях рабочего органа и дают возможность точно управлять мышечными движениями. Без такой обратной сигнализации, оцениваемой как «мышечное чувство», не может осуществляться координированный моторный акт.

Исследования этой проблемы в России начаты И.М. Сеченовым (1829-1905), который называл информацию от проприорецепторов «темным чувством», и продолжены Н.А. Бернштейном (1896-1966), идеи которого о многоуровневости системы организации движений и рефлекторном кольце лежат в основе современных представлений о регуляции движений.

Бернштейн, как и Ч. Белл, полагал, что для выполнения того или иного движения мозг не только посылает определенную команду к мышцам, но и получает от периферийных органов чувств сигналы о достигнутых результатах и на их основании дает новые, корректирующие команды. Бернштейн Н.А. для обоснования теории создает схему рефлекторного кольца и формулирует концепцию физиологии активности.

Однако если имеются нарушения в афферентном (от органа к ЦНС) или эффекторном (от ЦНС к органу) процессе рефлекторного кольца, то двигательный акт будет также нарушен.

В частности, в 1980 г. были обнаружены проприорецепторы в коленном суставе, благодаря которым также осуществляется процесс обмена информацией. И выявлено, что до 50% данных проприорецепторов находятся в передней крестообразной связке [1], и в случае ее разрыва, как следствие, происходит изменение в афферентном взаимодействии по схеме рефлекторного кольца.

Проприоцепция – способность воспринимать положение и перемещение в пространстве собственного тела или его отдельных сегментов [2]. Учитывая, что данный процесс происходит при участии двигательных анализаторов, мы предлагаем использовать термин «двигательная чувствительность» как синоним слову «проприоцепция».

Основой для данного исследования стало наличие спорных данных о механизме и степени восстановления проприоцепции после травмы передней крестообразной связки и мениска коленного сустава:

1. Некоторые исследователи полагают, что травма передней крестообразной связки нарушит проприоцепцию и баланс тела только со стороны поврежденной конечности

[3; 4]; другая часть ученых предполагает и научно доказывает двустороннее влияние травмы, т.е., несмотря на поражение связки одного коленного сустава, проприоцепция будет нарушена в обоих суставах [5; 6].

2. Вопреки мнению большинства ученых о том, что проприоцепция сама не восстанавливается, существуют доказательные исследования о том, что проприоцепция после данной травмы восстанавливается вне зависимости от целенаправленного воздействия [7]; а также доказательные исследования, что сенсорная функция не имеет различий между оперированными и не оперированными коленными суставами [8; 9].

Цель исследования – выявить степень нарушения и дальнейшего восстановления проприоцепции после сочетанной травмы разрыва передней крестообразной связки и мениска коленного сустава.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось на базе государственного бюджетного учреждения здравоохранения Свердловской области «Центр специализированных видов медицинской помощи «Уральский институт травматологии и ортопедии имени В.Д. Чаклина» и Института физической культуры, спорта и молодежной политики УрФУ.

В нем приняли участие 75 человек с сочетанной травмой передней крестообразной связки и мениска, в возрасте от 20 до 35 лет, ранее не имевших травм коленного сустава. Участники эксперимента – люди, имеющие в основном спортивную квалификацию 1-2 взрослых разрядов, травму получили при занятии спортом: 71% – игровые виды спорта (в основном футбол), 25% – единоборства, 4% – другие виды спорта. В среднем срок от момента получения травмы до операции составил $2,5 \pm 0,5$ года.

Из общего количества участников эксперимента было сформировано 2 группы: основная – 38 человек (15 девушек и 23 молодых человека) и контрольная – 37 человек (15 девушек и 22 молодых человека). В основной группе у 22 спортсменов из 38 была травмирована левая нога (58%), у 16 спортсменов (42%) – правая. В контрольной группе левая нога была травмирована у 20 спортсменов (54%) из 37, правая – у 17 (46%). По характеристике контингента группы были подобраны однородные, формировались по признаку получения травмы. Помимо основного нарушения (разрыва ПКС), у пациентов было повреждение мениска (67% – медиального и 33% – латерального).

У спортсменов контрольной группы занятия проводились по методике физической реабилитации, используемой в ЦСВМП «УИТО им. В.Д. Чаклина», у спортсменов основной группы – по разработанной нами методике физической реабилитации для спортсменов с рассматриваемой травмой.

Участники эксперимента находились 14 дней на лечении в стационаре ЦСВМП

«УИТО им. В.Д. Чаклина», где специалистами центра им была произведена операция по восстановлению передней крестообразной связки аутотрансплантатом из подколенных сухожилий (сухожилия полусухожильной мышцы и тонкой мышцы бедра) и частичного или полного удаления мениска. После выписки спортсменам были предложены занятия физической реабилитацией (2 раза в неделю групповые занятия лечебной гимнастикой, и с 8-й недели 1 раз неделю – гидрокинезотерапия) на базе спортивного комплекса ИФКСиМП УрФУ на протяжении 6 месяцев.

При оценке степени нарушения и дальнейшего восстановления проприоцепции мы использовали тест на воспроизведение позиции, суть которого заключалась в воспроизведении заданных значений сгибания коленного сустава. Сначала спортсмену мы пассивно сгибали конечность на 30° и 60°. Затем ему необходимо было повторить заданные углы самостоятельно. Тест проводится отдельно с открытыми и закрытыми глазами. Оценивалась величина различия в градусах между первоначальным значением и воспроизведенным. Данный тест проводился 5 раз во время реабилитации: до операции, спустя 7 недель, 3 месяца, 4,5 и 6 месяцев после операции.

Результаты исследования и их обсуждение

В рамках данного исследования было проведено еще дополнительное (анализировалось 70 научных статей: 35 отечественных и 35 зарубежных) на предмет выявления наиболее часто используемых методов оценки процесса восстановления после реконструкции крестообразных связок коленного сустава, чтобы определить, какое место занимает работа и оценка степени восстановления проприоцепции после травмы в общем алгоритме реабилитации. Полные результаты представлены в ранее опубликованной статье [10]. Здесь опишем сведения, касающиеся проприоцепции.

При анализе наиболее часто используемых методов в оценке реабилитационных мероприятий после разрыва крестообразных связок нестабильность исследуют в 43% (30 иссл.) исследований, состояние околосуставных мышц в 53% (37 иссл.), проприоцепцию в 19% (13 иссл.). То есть состоянию нарушения и восстановления проприоцепции после травмы уделяется наименьшее внимание.

При оценке проприоцептивных возможностей пациента на практике чаще применяются инструментальные методы исследования: стабилметрия и Motion analysis. Стабилметрия используется в основном отечественными исследователями, motion analysis – зарубежными.

Из общей практики, помимо инструментальных методов исследования, состояние двигательного анализатора можно оценить базовыми методическими приемами: исследование точности сгибания конечности до определенного угла, оценка усилий,

прикладываемых к ручному динамометру с закрытыми глазами, и пр. Во всех случаях учитывается процентное отклонение от заданной величины, которая считается допустимой на 10-20%. Точность выполнения движений или усилий имеет прямую связь с тренированностью и подготовленностью спортсмена [11].

В своем исследовании мы использовали тест на воспроизведение позиции. В реабилитационных мероприятиях акцент был сделан на баланс-тренинг, главной задачей которого являлось: восстановление проприоцептивной чувствительности и достижение симметрии обеих конечностей.

Баланс-тренинг представляет собой комплекс упражнений для развития равновесия, координации, двигательной чувствительности, выполняемых в неустойчивых положениях на полу, фитболе, подвесных системах, нестабильных опорах и активизирующих работу нервной системы, активных и пассивных стабилизаторов и рецепторов.

Для этого на занятиях лечебной гимнастикой и гидрокинезотерапией применялись специальные упражнения на развитие баланса тела, статической и динамической устойчивости. Упражнения на статическое равновесие мы проводили с 5-й недели после операции. После освоения комплекса на неподвижной опоре движения выполнялись на балансировочной подушке, и с 9-й недели начинали проводить упражнения на развитие динамического равновесия.

Результаты изменения двигательной чувствительности представлены в таблице.

Результаты теста на воспроизведение позиции (градусы)

Показатели	Конечность	Группы	Периоды Реабилитации (t)	Статистические параметры				
				X±m	V (%)	ΔM (%)	P по группе	P между группами
30 градусов с открытыми глазами	ЗК	Э	До операции	6,33±0,67	35,82			
			7 нед.	6,09±1,2	30,65	-3,2	0,791	
			3 мес.	5,25±0,96	31,14	-13,1	0,399	
			4,5 мес.	5±0,84	34,11	-5,7	0,803	
			6 мес.	3,09±0,6	28,2	-38	0,054	
					-50,8	<0,001		
		К	До операции	6±0,47	33,57			>0,05
			7 нед.	6,45±0,82	39,35	8,3	0,639	
			3 мес.	6,08±0,7	39,93	-6,1	0,735	
			4,5 мес.	6,2±0,93	41,03	1,6	0,934	
	6 мес.		5,7±0,82	37,55	-8,1	0,718		
					-5	0,777	0,011	
	ОК	Э	До операции	11,33±0,62	17,3			
			7 нед.	12,63±0,88	21,83	11,5	0,263	

			3 мес.	7,91±0,94	29,15	-37,3	0,001			
			4,5 мес.	6,18±1	19,1	-21,5	0,081			
			6 мес.	4±0,67	13,07	-35,5	0,008			
						-64,6	<0,001			
		К	До операции	11,89±0,68	17,05			>0,05		
			7 нед.	13,36±0,84	20,97	12,6	0,19			
			3 мес.	11,25±0,55	17	-15,7	0,051			
			4,5 мес.	10,27±0,69	15,82	-8,8	0,281			
			6 мес.	10±0,79	15,1	-2,9	0,797			
						-16	0,085	<0,001		
		30 градусов с закрытыми глазами	ЗК	Э	До операции	10,11±0,97	35,14			
					7 нед.	9,54±1,12	31,1	-5,9	0,671	
3 мес.	6,83±0,84				42,76	-28,4	0,031			
4,5 мес.	6,18±0,69				38,19	-10,3	0,477			
6 мес.	3,81±0,67				39,08	-37,7	0,01			
						-62,4	<0,001			
К	До операции			9,67±1,58	33,52			>0,05		
	7 нед.			9,64±1,93	31,91	-1	0,983			
	3 мес.			8,42±1,04	43,71	-12,5	0,397			
	4,5 мес.			7,54±0,97	39,84	-10,7	0,465			
	6 мес.			7,91±0,84	35,44	5,3	0,767			
						-18,6	0,271	0,005		
ОК	Э		До операции	14,41±1,12	27,12					
			7 нед.	14,27±1,08	25,16	-1,4	0,815			
			3 мес.	9,36±0,95	31,03	-34,5	<0,001			
			4,5 мес.	7,49±0,82	36,75	-20,4	0,065			
			6 мес.	4,45±0,9	31,28	-40,5	0,004			
						-69,4	<0,001			
	К		До операции	13,7±0,84	26,15			>0,05		
			7 нед.	14,36±0,43	29,98	5,1	0,432			
			3 мес.	12,45±0,63	24,07	-13,2	0,011			
			4,5 мес.	11,8±0,57	29,97	-5,6	0,422			
			6 мес.	11,27±0,54	26,61	-4,2	0,683			
						-17,5	0,095	<0,001		
60 градусов с открытыми глазами	ЗК	Э	До операции	4,89±0,73	45,1					
			7 нед.	4,73±0,66	46,43	-4,1	0,872			
			3 мес.	3,58±0,81	58,44	-23,4	0,287			
			4,5 мес.	2,27±0,45	55,53	-36,1	0,176			
			6 мес.	1,45±0,25	46,39	-39,1	0,13			
						-71,4	0,001			
		К	До операции	4,11±0,59	42,9			>0,05		
			7 нед.	4,73±0,66	46,43	14,6	0,495			
			3 мес.	4,67±0,64	47,77	0	0,948			
			4,5 мес.	4,54±0,64	46,53	-4,2	0,895			
			6 мес.	4±0,62	51,23	-11,1	0,546			
						-2,4	0,898	0,002		
	ОК	Э	До операции	7,56±0,69	27,37					
			7 нед.	9,64±0,82	28,33	26,2	0,069			
			3 мес.	5,92±0,97	46,96	-38,5	0,008			
			4,5 мес.	3,82±0,48	41,93	-35,6	0,071			

			6 мес.	2,09±0,41	35,77	-44,7	0,013			
						-72,4	<0,001			
		К	До операции	7,44±0,72	29,36			>0,05		
			7 нед.	8,27±0,52	31	12,2	0,37			
			3 мес.	8,08±0,67	28,63	-2,4	0,826			
			4,5 мес.	7,09±1,05	35,04	-12,3	0,436			
			6 мес.	6,64±1,02	32	-7	0,759			
						-10,8	0,528	0,001		
		60 градусов с закрытыми глазами	ЗК	Э	До операции	5,22±0,15	38,44			
					7 нед.	8±0,75	31,12	53,8	0,004	
					3 мес.	5,17±0,59	39,44	-35	0,008	
					4,5 мес.	4,81±0,76	42,36	-7,7	0,72	
6 мес.	3,18±0,44				36,23	-33,3	0,081			
						-38,5	<0,001			
К	До операции			6±0,47	33,57			>0,05		
	7 нед.			6,81±0,85	41,39	13,3	0,413			
	3 мес.			6,25±0,68	37,45	-7,3	0,607			
	4,5 мес.			5,81±0,64	36,71	-7,9	0,648			
	6 мес.		5,27±0,84	33,03	-8,6	0,613				
				-11,7	0,463	0,044				
ОК	Э		До операции	8,7±1,06	38,71					
			7 нед.	11,73±0,66	18,72	34,5	0,029			
			3 мес.	8,54±0,77	29,77	-27,3	0,005			
			4,5 мес.	7,54±0,78	34,23	-11,8	0,371			
			6 мес.	3,73±0,33	29,61	-50,7	<0,001			
						-57,5	<0,001			
	К	До операции	8,6±1,06	38,83			>0,05			
		7 нед.	10,73±0,85	26,4	24,4	0,135				
		3 мес.	10,45±0,72	22,78	-2,8	0,809				
		4,5 мес.	9,09±0,88	32,05	-12,5	0,244				
	6 мес.	8,1±0,55	22,42	-11	0,348					
			-5,8	0,675	<0,001					

Выводы

1. Разрешая спорные моменты и противоречия в найденных исследованиях, касающиеся восстановления проприоцепции, отметим, что проприоцепция после сочетанной травмы передней крестообразной связки и мениска коленного сустава имеет худшие показатели на травмированной конечности, что говорит об одностороннем влиянии травмы на состояние двигательной чувствительности. Однако при целенаправленной работе баланс-тренингом данные показатели значительно улучшаются у пациентов основной группы по сравнению с контрольной, что свидетельствует о возможности ее восстановления, и дисбаланс между конечностями становится минимальным.

2. В основном для оценки состояния проприоцепции используются инструментальные методы исследования, но, как показал проведенный анализ, только 19% включают в оценку реабилитационных мероприятий данный показатель. В доминирующем

большинстве акцент при восстановлении делается на улучшение силы мышц и стабильности сустава.

Список литературы

1. Ferrell W.R. The adequacy of stretch receptors in the cat knee joint for signalling joint angle throughout a full range of movement // *Journal of Physiology*. – 1980. – № 299. – P. 85-99.
2. Ларченко Н.А. Словарь-справочник медицинских терминов и основных медицинских понятий. – Ростов н/Д: Феникс, 2013. – 602 с.
3. Lee H.-M. Correlation between proprioception, muscle strength, knee laxity, and dynamic standing balance in patients with chronic anterior cruciate ligament deficiency / H.-M. Lee, C.-K. Cheng, J.-J. Liao // *The Knee*. – 2009. – Vol. 16. – P. 387-391.
4. Shim J.-K. Effects of neuromuscular training on knee joint stability after anterior cruciate ligament reconstruction / J.-K. Shim, H.-S. Choi, J.-H. Shin // *Journal of Physical Therapy Science*. – 2015. – Vol. 27. – № 12. – P. 3613-3617.
5. Proprioceptive changes in the contralateral knee joint following anterior cruciate injury / J. Arockiaraj, R.J. Korula, A.T. Oommen [et al.] // *The Bone and Joint Journal*. – 2013. – Vol. 95. – P. 88-91.
6. Contributions of neural excitability and voluntary activation to quadriceps muscle strength following anterior cruciate ligament reconstruction / A.S. Lepley, H.M. Ericksen, D.H. Sohn [et al.] // *The Knee*. – 2014. – № 21. – P. 736-742.
7. Knee proprioception following ACL reconstruction; a prospective trial comparing hamstrings with bone–patellar tendon–bone autograft / A.G. Angoules, A.F. Mavrogenis, R. Dimitriou [et al.] // *The Knee*. – 2011. – Vol. 18. – P. 76-82.
8. Cooper R.L. A systematic review of the effect of proprioceptive and balance exercises on people with an injured or reconstructed anterior cruciate ligament / R.L. Cooper, N.F. Taylor, J.A. Feller // *Research in Sports Medicine*. – 2005. – Vol. 13. – № 2. – P. 163-178.
9. Akbari A. The effects of balance training on static and dynamic postural stability indices after acute ACL reconstruction / Asghar Akbari, Fateme Ghiasi, Mohsen Mir, Mohammad Hosseinifar // *Global Journal of Health Science*. – 2016. – Vol. 8. – № 4. – P. 68-81.
10. Федулова Д.В. Методы оценки процесса восстановления после реконструкции крестообразных связок коленного сустава / Д.В. Федулова, Г.А. Ямалетдинова // *Научно-спортивный вестник Урала и Сибири*. – 2018. – № 1. – С. 68-86.
11. Спортивная медицина: учебник для институтов физической культуры: под общ. ред. В.Л. Карпмана. – М.: Физкультура и спорт, 1987. – 304 с.