

ОПТИМАЛЬНЫЙ ВЫБОР ЖИВОТНОГО ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ РАБОТЫ НА КРУПНЫХ СУСТАВАХ В ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

© Г.А. Айрапетов, А.Ж. Хуртуев

Ставропольский государственный медицинский университет, Ставрополь, Российская Федерация

Проблема заболеваний и повреждений крупных суставов является одной из самых актуальных в травматологии и ортопедии. Регулярно разрабатываются и внедряются новые, эффективные методы лечения. Для апробации новых технологий необходимо проведение экспериментальных исследований. Наиболее достоверными могут считаться результаты, полученные при использовании животных с выявлением патогенеза развития заболевания и механизмов его предотвращения. Для этих целей могут использоваться разнообразные животные. В работе проанализированы 30 источников литературы. Выполнялся анализ экспериментальных проспективных исследований и системных метаанализов. Данные литературы систематизированы и проанализированы. Установлено, что при планировании экспериментального исследования на крупных суставах животных необходимо учитывать сходство биохимических процессов и структур компонентов сустава с человеческим, а также возможность наблюдения за животным. Так, необходимо особое внимание уделять характеристикам нагрузки на сустав, от которых радикально меняются отдаленные результаты лечения. При моделировании экспериментальной работы связанной с внедрением нового метода хирургического лечения повреждений или заболеваний крупных суставов, предпочтительнее использовать крупных животных, таких как овцы. При изучении влияния консервативного лечения возможно использование мелких существ, таких как крысы или кролики.

Ключевые слова: *экспериментальное животное; экспериментальная модель; остеохондральный дефект; крупный сустав.*

OPTIMAL CHOICE OF ANIMAL FOR EXPERIMENTAL WORK ON LARGE JOINTS IN TRAUMATOLOGY AND ORTHOPEDICS (LITERATURE SURVEY)

G.A. Airapetov, A.Zh. Khurtuev

Stavropol State Medical University, Stavropol, Russian Federation

Diseases of and damages to large vessels make the most urgent problem in traumatology and orthopedics. New and effective methods of treatment are constantly being developed and introduced. Approbation of new technologies requires experimental studies. Most reliable are considered the results obtained with use of animals that permit to elicit the pathogenesis of diseases and mechanisms of its prevention. For these purposes different animal can be used. In the work 30 literature sources were analyzed. Analysis of experimental promising research works and systemic mechanisms was conducted. It was found that in planning experimental works on large joints of animals it is important to take into account similarity of their biochemical processes and structures of joint



components with those of humans, and also a possibility of observation of animals. Thus, it is required to pay special attention to characteristics of loads on the joints which radically change the long-term results of treatment. In modeling of experimental work for introduction of a new method of treatment for damages or diseases of large vessels, it is preferable to use large animals like sheep. In study of conservative treatment it is possible to use small animals like rats or rabbits.

Keywords: *experimental animal; experimental model; osteochondral defect; large joint.*

Проблема заболеваний и повреждений крупных суставов является одной из самых актуальных в травматологии и ортопедии [1]. При этом первое место, безусловно, занимает остеоартрит, который по некоторым данным наблюдается в 55% случаев [2]. Стоит отметить так же высокую частоту встречаемости рассекающего остеохондрита и других повреждений крупных суставов, которые диагностируются у пациентов молодого возраста [3].

Сегодня предложено множество различных методов лечения, начиная от консервативных и заканчивая большими, агрессивными хирургическими вмешательствами [4-6]. Учитывая тот факт, что в медицинской литературе регулярно появляется информация о новых методах лечения заболеваний крупных суставов, можно сделать вывод о недостатках существующих.

Естественно, что для апробации новых технологий необходимо проведение экспериментальных исследований. Наиболее достоверными могут считаться результаты, полученные при использовании животных с выявлением патогенеза развития заболевания и механизмов его предотвращения.

В специальной литературе описываются разнообразные модели ятрогенного формирования заболеваний или повреждений крупных суставов у животных:

1. Спонтанный остеоартрит (возрастные изменения, дисплазия);
2. Химически индуцированные изменения (введение химопапаина, коллагеназы, разнообразных растворов и химических средств);
3. Травматически индуцированные изменения (менискэктомия, формирование дефектов хряща и субхондральной кости и др.) [7,8].

Преимуществом изучения заболеваний или повреждений крупных суставов у жи-

вотных является возможность оценить полученные результаты на всех уровнях, начиная от клеточного и заканчивая органным, в том числе с проведением дополнительных инструментальных исследований (рентгенография, компьютерная томография, магнитно-резонансная томография и др.).

Несомненно, что использование животных в качестве экспериментальных моделей имеет свои недостатки. К примеру, не представляется возможным оценить жалобы (болевого синдром, мышечная слабость и др.), что является очень важным маркером у человека. Так же невозможно полностью оценить идентичность экспериментальной модели остеоартрита или дефекта животного с таковыми у человека.

Отличие ответа животного с моделированным заболеванием или повреждением и человека на лечение во многом зависит от исходного уровня некоторых ферментов, которые, как полагают, принимают активное участие в патогенезе.

При выборе экспериментального животного исследователи основываются на различных факторах [9,10]. Важной составляющей является стоимость покупки и содержания объектов исследований. Естественно, что стоимость содержания и наблюдения животных возрастает пропорционально его размеру. Это является одной из причин выбора в пользу мелких животных, таких, как крысы и кролики.

Другим преимуществом является возможность выбора генетически схожих существ, что может снизить вариабельность полученных результатов. Однако трудно перейти от экспериментальной работы к клинической, имея результаты исследования только на мелких объектах. По данным литературы суставы мелких животных радикально отличаются от че-

ловеческих (рис. 1) [11]. Они значительно меньше, хрящ тоньше, а близость субхондральной кости, которая повреждается

при формировании дефекта, не позволяет создать полностью соответствующий человеческому суставу дефект.



Рис. 1. Коленные суставы (масштаб 1:1)

Крупные животные, такие, как лошади, овцы, собаки и др. требуют больших затрат на содержание и ветеринарную поддержку. Конечно, если все эти условия не являются помехой, то это наиболее предпочтительный вариант проведения экспериментальной работы.

По данным специальной литературы наиболее популярными экспериментальными животными являются собаки, кролики, крысы и овцы. Некоторые биохимические и механические процессы, которые наблюдаются у собак и кроликов не являются таковыми у человека, ввиду выраженной амортизационной способности субхондральной кости у этих животных [12,13]. Кроме того, малый размер суставных поверхностей у таких существ, как крысы и кролики создает большую проблему для отработки многих предлагаемых хирургических методов лечения, особенно с формированием остео-хондральных дефектов.

В 2010 году Американское общество по тестированию и материалам опубликовало рекомендации по проведению экспериментальных исследований имплантов для регенерации суставного хряща. Согласно этим рекомендациям критическим является дефект, который не может самостоятельно восстановиться без внешнего воздействия. Формируемый дефект сус-

тавного хряща должен не превышать 15-20% от площади суставной поверхности или 50-60% от площади суставной поверхности мыщелка, а глубина дефекта не должна превышать 10 мм [14].

В ряде стран по законодательству запрещено использовать некоторые виды животных в экспериментальных целях (собаки, кошки). В Российской Федерации существует закон «О защите животных от жестокого обращения», от 1 декабря 1999 года, где стоит запрет на использование экспериментальных животных с высокоорганизованной центральной нервной системой (приматы, собаки, кошки, дельфины). Овцы не относятся к этой категории и разрешены к использованию в качестве экспериментальных животных. Ещё с 1962 года некоторые авторы отмечали, что хондроциты овцы однотипны с человеческими [15].

De Rousseau и соавторы считают, что существуют большие различия между данными полученными в результате исследований на животных и человеке [16]. Примером может служить высокая эффективность НПВС при моделировании артрита у грызунов, что привело к переоценке эффективности данной группы препаратов у человека.

В другой работе авторы так же проводили исследование на крысах и кроликах.

Суть работы была в оценке влияния картогена на хондрогенез [17]. Обоснование выбора в качестве экспериментальной модели мелких животных в работе не указана.

Проанализировав доступную литературу, мы пришли к выводу, что все же наиболее часто в качестве экспериментальных животных используют овец, которые имеют ряд преимуществ. Данные животные хорошо переносят анестезию, неприхотливы в уходе, а строение их суставного хряща и субхондральной кости сходно с человеческим.

Интересной представляется экспериментальная работа из Хорватии, где авторы использовали хондроциты из носовой перегородки для выполнения методики аутотрансплантации культивированных хондроцитов (АСІ). В работе выполняли 2 не полнослойных дефекта диаметром 4 мм по внутреннему и наружному мыщелку бедра овцы при помощи инструмента для мозаичной аутохондропластики. Перед этим выполняли биопсию носовой перегородки с целью получения хондроцитов, которые культивировались в течение 5 недель. Во время второй операции, один из выполненных дефектов увеличивался до 6.5 мм с глубиной 5 мм, после чего выполнялось заполнение дефекта культивированными хондроцитами. Авторы заключили, что хондроциты полученные из носовой перегородки показывают многообещающие результаты в рамках методики АСІ [18].

Одним из новых направлений в лечении дегенеративно-дистрофических заболеваний крупных суставов является применение лазерного облучения с низкими дозами [19,20]. Так Вауат и соавторы выполняли остеохондральный дефект на надколеннике в эксперименте на 41 кролике и изучали влияние лазерного облучения на регенерацию дефекта. Авторы заключили, что в группе, где применялось лазерное облучение формировался более стабильный регенерат. Обоснование выбора кроликов для работы не указано [21]. В другом исследовании авторы выполняли костно-

хрящевой дефект коленного сустава у 45 кроликов и также изучали влияние ЛО на регенерацию. Иммуногистохимический анализ показал, что в контрольной группе определялись более высокая плотность хондроцитов и содержание гликозаминогликанов, а в группе без ЛО, дефект не восстанавливался [22]. В другой работе оценивалось количество гликозаминогликанов после применения ЛО на крысах, после чего сообщалось о более высокой концентрации их в контрольной группе [23].

Проанализировав медицинскую литературу, мы сделали сводную таблицу, включающую в себя преимущества разнообразных животных для эксперимента (табл. 1) [24-29].

Интересным является тот факт, что на результаты лечения влияет не только возраст животного, но и время года. Это подтверждено в исследовании, проведенном Аренс и соавт. в Швейцарии. Авторы с помощью компьютерной томографии и сцинтиграфии в течение 18 месяцев изучали плотность костной ткани трубчатых костей овец. Была выявлена её абсолютная зависимость от времени года: так, весной и летом костная масса больше на 5 % относительно зимы и осени [30].

Заключение

Мы считаем, что при планировании экспериментального исследования на крупных суставах животных необходимо учитывать сходство биохимических процессов и структур компонентов сустава с человеческим, а также возможность наблюдения за животным. Так, необходимо особое внимание уделять характеристикам нагрузки на сустав, от которых радикально меняются отдаленные результаты лечения. При моделировании экспериментальной работы связанной с внедрением нового метода хирургического лечения повреждений или заболеваний крупных суставов, предпочтительнее использовать крупных животных, таких как овцы. При изучении влияния консервативного лечения возможно использование мелких существ, таких как крысы или кролики.

Таблица 1

Животное	Сустав	Средняя толщина хряща, мм	Дефект	Использование	По период	Результаты
Крыса	Коленный	0,1	Хирургически сформированный хондральный или остеохондральный дефект от 0.75 мм до 3 мм	Чаще скрининг для дальнейшего использования на крупных животных	Лабораторные анализы, колесо для бега	MPT, КТ, Rg, морфология
Кролик	Коленный, плечевой	0,21-0,56	Хондральный или остеохондральный дефект от 2 мм до 4 мм	Чаще скрининг для дальнейшего использования на крупных животных	Лабораторные анализы	MPT, КТ, Rg, морфология, биохимия
Собака	Коленный, плечевой, тазобедренный, голеностопный	0,95-1,3	Хондральный или остеохондральный дефект от 3 мм до 12 мм	Применение новых методов лечения с окончательной оценкой результатов	Применение бандажей, иммобилизации, фиксаторов, отсутствие нагрузки	Артроскопия, MPT, КТ, Rg, морфология, биохимия, кинетика и кинематика
Овца	Коленный	0,4-1,5	Хондральный или остеохондральный дефект от 4 мм до 15 мм	Применение новых методов лечения с окончательной оценкой результатов	Применение бандажей, иммобилизации, фиксаторов, отсутствие нагрузки	Артроскопия, MPT, КТ, Rg, морфология, биохимия, кинетика и кинематика
Лошадь	Коленный, голеностопный	1,5-2	Хондральный или остеохондральный дефект от 6 мм до 20 мм	Применение новых методов лечения с окончательной оценкой результатов	Применение бандажей, иммобилизации, фиксаторов, отсутствие нагрузки	Артроскопия, MPT, КТ, Rg, морфология, биохимия, кинетика и кинематика

Дополнительная информация

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфлик-

тов интересов, о которых необходимо сообщить в связи с публикацией данной статьи.

Литература

- Kim Y.S., Choi Y.J., Lee S.W., et al. Assessment of clinical and MRI outcomes after mesenchymal stem cell implantation in patients with knee osteoarthritis: a prospective study // *Osteoarthritis Cartilage*. 2016. Vol. 24. P. 237-245.
- Hunter D.J. Pharmacologic therapy for osteoarthritis – the era of disease modification // *Nature Reviews Rheumatology*. 2011. Vol. 7, №1. P. 13-22. doi:10.1038/nrrheum.2010.178
- Jacobi M., Villa V., Magnussen R.A., et al. MACI – a new era? // *Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy & Technology*. 2011. Vol. 3, №1. P. 10. doi:10.1186/1758-2555-3-10
- Chang K.V., Hung C.Y., Aliwarga F., et al. Comparative effectiveness of platelet-rich plasma injections for treating knee joint cartilage degenerative pathology: a systematic review and meta-analysis // *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2014. Vol. 95, №3. P. 562-575. doi:10.1016/j.apmr.2013.11.006
- Andia I., Abate M. Knee osteoarthritis: hyaluronic acid, platelet-rich plasma or both in association? // *Expert Opinion on Biological Therapy*. 2014. Vol. 14, №5. P. 635-649. doi:10.1517/14712598.2014.889677
- Айрапетов Г.А., Воротников Г.А., Коновалов Е.А. Методы хирургического лечения локаль-

- ных дефектов гиалинового хряща крупных суставов (обзор литературы) // Гений ортопедии. 2017. Т. 23, №4. С. 485-491. doi:10.18019/1028-4427-2017-23-4-485-491
7. Kuyinu E.L., Narayanan G., Nair L.S., et al. Animal models of osteoarthritis: classification, update, and measurement of outcomes // *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. 2016. Vol. 11. P. 19. doi:10.1186/s13018-016-0346-5
 8. Swami A., Reagan M.R., Basto P., et al. Engineered nanomedicine for myeloma and bone microenvironment targeting // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2014. Vol. 111, №28. P. 10287-10292. doi:10.1073/pnas.1401337111
 9. Yuan T., Zhang J., Zhao G., et al. Creating an Animal Model of Tendinopathy by Inducing Chondrogenic Differentiation with Kartogenin // *PLoS One*. 2016. Vol 11, №2. P. e0148557. doi:10.1371/journal.pone.0148557
 10. Decker R.S., Koyama E., Enomoto-Iwamoto M., et al. Mouse limb skeletal growth and synovial joint development are coordinately enhanced by Kartogenin // *Developmental Biology*. 2014. Vol. 395, №2. P. 255-267. doi:10.1016/j.ydbio.2014.09.011
 11. Waller K.A., Zhang L.X., Elsaid K.A., et al. Role of lubricin and boundary lubrication in the prevention of chondrocyte apoptosis // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2013. Vol. 110, №15. P. 5852-5857. doi:10.1073/pnas.1219289110
 12. Frost-Christensen L.N., Mastbergen S.C., Vianen N.E., et al. Degeneration, inflammation, regeneration, and pain/disability in dogs following destabilization or articular cartilage grooving of the stifle joint // *Osteoarthritis Cartilage*. 2008. Vol. 16, №11. P. 1327-1335 doi:10.1016/j.joca.2008.03.013
 13. Da Rosa A.S., Dos Santos A.F., Da Silva M.M., et al: Effects of Low-level Laser Therapy at Wavelengths of 660 and 808 nm in Experimental Model of Osteoarthritis // *Photochemistry and Photobiology*. 2012. Vol. 88, №1. P. 161-166. doi: 10.1111/j.1751-1097.2011.01032.x
 14. American Society for Testing and Materials. ASTM F2451 05(2010) Standard Guide for in vivo Assessment of Implantable Devices Intended to Repair or Regenerate Articular Cartilage. Available at: <http://www.astm.org/Standards/F2451.htm> Accessed: 2019 May 27.
 15. Smink J.J., Koedam J.A., Koster J.G. Dexamethasone-induced growth inhibition of porcine growth plate chondrocytes is accompanied by changes in levels of IGF axis components // *Journal of Endocrinology*. 2002. Vol. 174, №2. P. 343-352.
 16. DeRousseau C.J. Aging in the musculoskeletal system of rhesus monkeys. II. Degenerative joint disease // *American Journal of Physical Anthropology*. 1985. Vol. 67, №3. P. 177-184. doi:10.1002/ajpa.1330670303
 17. Fazal-Ur-Rehman Bhatti, Karen A Hasty, Hongsik Cho. Kartogenin Induced Chondrogenesis of Stem Cells and CartilageRepair // *International Journal of Stem Cell Research & Therapy*. 2016. Vol. 3, №2. P. 192-195. doi:10.23937/2469-570X/1410036
 18. Vukasović A., Pusić M., Kostešić P., et al. Preclinical animal model – novel technology for articular cartilage repair. In: 3rd International Conference on Regenerative Orthopaedics. Zagreb; 2015. P. 53-73.
 19. De Almeida P., Lopes-Martins R.A., De Marchi T., et al. Red (660 nm) and infrared (830 nm) low-level laser therapy in skeletal muscle fatigue in humans: what is better? // *Lasers in Medical Science*. 2012. Vol. 27, №2. P. 453-458. doi:10.1007/s10103-011-0957-3
 20. Кончугова Т. В., Кульчицкая Д.Б. Влияние высокоинтенсивного лазерного излучения на состояние микроциркуляции у больных гонартрозом // *Доктор.Ру*. 2014. №13. С. 59-61.
 21. Bayat M., Ansari E., Gholami N., et al. Effect of low-level helium-neon laser therapy on histological and ultrastructural features of immobilized rabbit articular cartilage // *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2007. Vol. 87, №2. P. 81-87.
 22. Sharma S.K., Kharkwal G.B., Sajo M., et al. Dose response effects of 810 nm laser light on mouse primary cortical neurons // *Lasers in Surgery and Medicine*. 2011. Vol. 43, №8. P. 851-859. doi: 10.1002/lsm.21100
 23. Joensen J., Gjerdet N.R., Hummelsund S., et al. An experimental study of low-level laser therapy in rat Achilles tendon injury // *Lasers in Medical Science*. 2012. Vol. 27, №1. P. 103-107. doi:10.1007/s10103-011-0925-y
 24. Маланин Д.А., Писарев В.Б., Новочадов В.В. Восстановление поврежденных хряща в коленном суставе. Экспериментальные и клинические аспекты. Волгоград; 2010.
 25. Kuroki K., Cook C.R., Cook J.L. Subchondral bone changes in three different canine models of osteoarthritis // *Osteoarthritis Cartilage*. 2011. Vol. 19, №9. P. 1142-1149. doi:10.1016/j.joca.2011.06.007
 26. Garner B.C., Stoker A.M., Kuroki K., et al. Using animal models in osteoarthritis biomarker research // *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2011. Vol. 24, №4. P. 251-264. doi:10.1055/s-0031-1297361
 27. O'Connell G.D., Lima E.G., Liming B., et al. Toward engineering a biological joint replacement // *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2012. Vol. 25, №3. P. 187-196. doi:10.1055/s-0032-1319783
 28. Hoemann C., Kandel R., Roberts S., et al. International Cartilage Repair Society (ICRS) recommended guidelines for histological endpoints for cartilage repair studies in animal models and clinical trials // *Cartilage*. 2011. Vol. 2, №2. P. 153-172. doi:10.1177/1947603510397535
 29. Frisbie D.D., Cross M.W., McIlwraith C.W. A comparative study of articular cartilage thickness

in the stifle of animal species used in human pre-clinical studies compared to articular cartilage thickness in the human knee // *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*. 2006. Vol. 19, №3. P. 142-146.

30. Arens D., Sigrist I., Alini M., et al. Seasonal changes in bone metabolism in sheep // *Veterinary Journal*. 2007. Vol. 174, №3. P. 585-591. doi: 10.1016/j.tvjl.2006.10.001

References

1. Kim YS, Choi YJ, Lee SW, et al. Assessment of clinical and MRI outcomes after mesenchymal stem cell implantation in patients with knee osteoarthritis: a prospective study. *Osteoarthritis Cartilage*. 2016;24:237-45.
2. Hunter DJ. Pharmacologic therapy for osteoarthritis – the era of disease modification. *Nature Reviews Rheumatology*. 2011;7(1):13-22. doi:10.1038/nrrheum.2010.178
3. Jacobi M, Villa V, Magnussen RA, et al. MACI – a new era? *Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy & Technology*. 2011;3(1):10. doi: 10.1186/1758-2555-3-10
4. Chang KV, Hung CY, Aliwarga F, et al. Comparative effectiveness of platelet-rich plasma injections for treating knee joint cartilage degenerative pathology: a systematic review and meta-analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2014;95(3):562-75. doi:10.1016/j.apmr.2013.11.006
5. Andia I, Abate M. Knee osteoarthritis: hyaluronic acid, platelet-rich plasma or both in association? *Expert Opinion on Biological Therapy*. 2014; 14(5):635-49. doi:10.1517/14712598.2014.889677
6. Airapetov GA, Vorotnikov AA, Konovalov EA. Surgical methods of focal hyaline cartilage defect management in large joints (literature review). *Genij Orthopedii*. 2017;23(4):485-91. (In Russ). doi:10.18019/1028-4427-2017-23-4-485-491
7. Kuyinu EL, Narayanan G, Nair LS, et al. Animal models of osteoarthritis: classification, update, and measurement of outcomes. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. 2016;11:19. doi:10.1186/s13018-016-0346-5
8. Swami A, Reagan MR, Basto P, et al. Engineered nanomedicine for myeloma and bone microenvironment targeting. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2014;111(28):10287-92. doi:10.1073/pnas.1401337111
9. Yuan T, Zhang J, Zhao G, et al. Creating an Animal Model of Tendinopathy by Inducing Chondrogenic Differentiation with Kartogenin. *PLoS One*. 2016;11(2):e0148557. doi:10.1371/journal.pone.0148557
10. Decker RS, Koyama E, Enomoto-Iwamoto M, et al. Mouse limb skeletal growth and synovial joint development are coordinately enhanced by Kartogenin. *Developmental Biology*. 2014;395(2):255-67. doi:10.1016/j.ydbio.2014.09.011
11. Waller KA, Zhang LX, Elsaid KA, et al. Role of lubricin and boundary lubrication in the prevention of chondrocyte apoptosis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2013;110(15):5852-7. doi:10.1073/pnas.1219289110
12. Frost-Christensen LN, Mastbergen SC, Vianen NE, et al. Degeneration, inflammation, regeneration, and pain/disability in dogs following destabilization or articular cartilage grooving of the stifle joint. *Osteoarthritis Cartilage*. 2008;16(11):1327-35. doi:10.1016/j.joca.2008.03.013
13. Da Rosa AS, Dos Santos AF, Da Silva MM, et al. Effects of Low-level Laser Therapy at Wavelengths of 660 and 808 nm in Experimental Model of Osteoarthritis. *Photochemistry and Photobiology*. 2012;88(1):161-6. doi:10.1111/j.1751-1097.2011.01032.x
14. American Society for Testing and Materials. ASTM F2451 05(2010) Standard Guide for in vivo Assessment of Implantable Devices Intended to Repair or Regenerate Articular Cartilage Available at: <http://www.astm.org/Standards/F2451.htm> Accessed: 2019 May 27.
15. Smink JJ, Koedam JA, Koster JG. Dexamethasone-induced growth inhibition of porcine growth plate chondrocytes is accompanied by changes in levels of IGF axis components. *Journal of Endocrinology*. 2002;174(2):343-52.
16. DeRousseau CJ. Aging in the musculoskeletal system of rhesus monkeys. II. Degenerative joint disease. *American Journal of Physical Anthropology*. 1985;67(3):177-84. doi:10.1002/ajpa.1330670303
17. Fazal-Ur-Rehman Bhatti, Karen A Hasty, Hongsik Cho. Kartogenin Induced Chondrogenesis of Stem Cells and Cartilage Repair. *International Journal of Stem Cell Research & Therapy*. 2016;3(2):192-5. doi:10.23937/2469-570X/1410036
18. Vukasović A, Pusić M, Kostešić P, et al. *Preclinical animal model – novel technology for articular cartilage repair*. In: *3rd International Conference on Regenerative Orthopaedics*. Zagreb; 2015. P. 53-73.
19. De Almeida P, Lopes-Martins RA, De Marchi T, et al. Red (660 nm) and infrared (830 nm) low-level laser therapy in skeletal muscle fatigue in humans: what is better? *Lasers in Medical Science*. 2012;27(2):453-8. doi:10.1007/s10103-011-0957-3
20. Kulchitskaia DB, Konchugova TV. Effects of High-Intensity Laser Therapy on Microcirculation in Patients with Gonarthrosis. *Doctor.ru*. 2014; (13):59-61. (In Russ).
21. Bayat M, Ansari E, Gholami N, et al. Effect of low-level helium-neon laser therapy on histological and ultrastructural features of immobilized rabbit articular cartilage. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2007;87(2):81-7.
22. Sharma SK, Kharkwal GB, Sajo M, et al. Dose response effects of 810 nm laser light on mouse primary cortical neurons. *Lasers in Surgery and Medicine*. 2011;43(8):851-9. doi:10.1002/lsm.21100
23. Joensen J, Gjerdet NR, Hummelsund S, et al. An experimental study of low-level laser therapy in rat

- Achilles tendon injury. *Lasers in Medical Science*. 2012;27(1):103-7. doi:10.1007/s10103-011-0925-y
24. Malanin DA, Pisarev VB, Novochadov VV. *Vosstanovlenie povrezhdenij hryashcha v kolennom sustave. Eksperimental'nye i klinicheskie aspekty*. Volgograd; 2010.
25. Kuroki K, Cook CR, Cook JL. Subchondral bone changes in three different canine models of osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2011;19(9):1142-9. doi:10.1016/j.joca.2011.06.007
26. Garner BC, Stoker AM, Kuroki K, et al. Using animal models in osteoarthritis biomarker research. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2011;24(4):251-64. doi:10.1055/s-0031-1297361
27. O'Connell GD, Lima EG, Liming B, et al. Toward engineering a biological joint replacement. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2012;25(3):187-96. doi:10.1055/s-0032-1319783
28. Hoemann C, Kandel R, Roberts S, et al. International Cartilage Repair Society (ICRS) recommended guidelines for histological endpoints for cartilage repair studies in animal models and clinical trials. *Cartilage*. 2011;2(2):153-72. doi:10.1177/1947603510397535
29. Frisbie DD, Cross MW, McIlwraith CW. A comparative study of articular cartilage thickness in the stifle of animal species used in human pre-clinical studies compared to articular cartilage thickness in the human knee. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*. 2006;19(3):142-6.
30. Arens D, Sigrist I, Alini M, et al. Seasonal changes in bone metabolism in sheep. *Veterinary Journal*. 2007;174(3):584-91. doi:10.1016/j.tvjl.2006.10.001

Информация об авторах [Authors Info]

Айрапетов Георгий Александрович – к.м.н., доцент кафедры травматологии и ортопедии, Ставропольский государственный медицинский университет, Ставрополь, Российская Федерация. E-mail: AirapetovGA@yandex.ru

SPIN: 7333-6640, ORCID ID: 0000-0001-7507-7772.

Georgi A. Airapetov – MD, PhD, Associate Professor of the Department of Traumatology and Orthopedics, Stavropol State Medical University, Stavropol, Russian Federation. E-mail: AirapetovGA@yandex.ru

SPIN: 7333-6640, ORCID ID: 0000-0001-7507-7772.

Алим Жагафарович Хуртуев – заочный аспирант кафедры патологической анатомии, Ставропольский государственный медицинский университет, Ставрополь, Российская Федерация.

ORCID ID: 0000-0003-3041-6157.

Alim Zh. Khurtuev – Correspondence Post-Graduate Student of the Department of Pathological Anatomy, Stavropol State Medical University, Stavropol, Russian Federation.

ORCID ID: 0000-0003-3041-6157.

Цитировать: Айрапетов Г.А., Хуртуев А.Ж. Оптимальный выбор животного для экспериментальной работы на крупных суставах в травматологии и ортопедии (обзор литературы) // Наука молодых (Eruditio Juvenium). 2020. Т. 8, №1. С. 98-105. doi:10.23888/HMJ20208198-105

To cite this article: Airapetov GA, Khurtuev AZh. Optimal choice of animal for experimental work on large joints in traumatology and orthopedics (literature survey). *Science of the young (Eruditio Juvenium)*. 2020;8(1):98-105. doi:10.23888/HMJ20208198-105

Поступила / Received: 15.04.2019
Принята в печать / Accepted: 02.03.2020