

**ТРИБОХИМИЧЕСКИЙ КОМПОНЕНТ РАЗВИТИЯ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА
ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ ИСКУССТВЕННЫХ СУСТАВОВ.
ЧАСТЬ 4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛУБРИКАЦИОННОГО И АНТИОКИСЛИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ
КОСТНОГО ЖИРА В ЭНДОПРОТЕЗЕ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА**

Н.С. Гаврюшенко, В.Г. Булгаков

ФГБУ «Центральный институт травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова»
Минздравсоцразвития России, Москва, РФ

В работе изучена смазочная способность синовиального выпота и костного жира на модельных парах трения и влияние указанных лубрикантов на момент вращения различных узлов трения эндопротезов. Представлена также экспериментальная оценка функционирования эндопротеза тазобедренного сустава Мовшовича—Гаврюшенко, конструкция которого позволяет использовать собственный костный жир пациента. Показано, что костный жир человека обладает выраженным смазочным свойством, существенно снижает момент вращения различных узлов трения, ингибирует образование токсичных свободных радикалов. Предложенная конструкция имплантата с артротомическим каналом делает возможным постоянное, вследствие циклических изменений нагрузок на головку эндопротеза, поступление при ходьбе жидкой фазы костного мозга в узел трения. Применение костного жира способно уменьшить или полностью предупредить действие нескольких негативных факторов, которые ухудшают результаты эндопротезирования.

Ключевые слова: пара трения, коэффициент трения, частицы износа, момент вращения, эндопротезы суставов, свободные радикалы.

***Tribochemical Component of Oxidative Stress Development at Artificial Joints Implantation.
Part 4. Use of Lubrication and Antioxidant Action of Bone Fat in Total Hip Implant.***

N.S. Gavryushenko V.G. Bulgakov

Human bone fat possesses expressed lubrication action, essentially reduces the torque moment of various friction units, inhibit formation of toxic free radicals. With the purpose of patient's bone fat use in Movshovich — Gavryushenko hip joint implant an arthro-medullary canal that connect bone marrow cavity and wear bearing surface of implant is present. Axial loadings of this implant cause flow of liquid bone fat via canal to friction unit thus promoting improvement of tribologic parameters and inhibiting the development of free radical reactions. Application of bone fat can reduce or completely block the action of several negative factors that deteriorate outcomes of total joint replacement.

Key words: joint implants, free radicals, friction rate, wear particles, friction unit.

Несмотря на значительный прогресс в технологии производства, современные эндопротезы суставов человека имеют все же ограниченный срок службы. В качестве одних из основных факторов, ухудшающих функционирование протезов, выступают трение и износ их трущихся поверхностей. Следствием износа является существенное ухудшение функционирования имплантата как единого механизма, опасность попадания в узел трения частиц материалов с последующим катастрофическим ускорением износа компонентов [1]. Причиной усиления износа может быть также активация свободнорадикальных реакций, оказывающих влияние на целостность компонентов имплантатов. В частности, в присутствии радикалов кислорода усиливается коррозия ионов металлов из титановых имплантатов [2], а свободнорадикальное окисление сверхвысокомолеку-

лярного полиэтилена (СВМПЭ) ухудшает его износостойкость [3]. Выявленный нами трибохимический механизм образования токсичных радикалов подтверждает важность обеспечения низкофрикционного и инертного (в плане радикалообразующей способности) функционирования узлов трения эндопротезов [4]. В этой связи очевидна необходимость существенного улучшения трибологических показателей и износостойкости имплантатов суставов, однако эта задача в полной мере не решена. Ранее нами показано выраженное смазочное действие костного жира человека в паре трения сталь—полиэтилен и наличие в жире значительного количества антиоксидантов [5, 6]. Это может служить основанием для разработки способа использования собственного костного жира пациента для корректировки отмеченных негативных процессов.

В работе изучены смазочная способность синовиального выпота и костного жира на модельных парах трения и влияние указанных лубрикантов на момент вращения узлов трения эндопротезов. Представлена также экспериментальная оценка функционирования эндопротеза тазобедренного сустава Мовшовича—Гаврюшенко, конструкция которого позволяет использовать собственный костный жир пациента.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Способ изготовления частиц износа кобальтового сплава, методика определения их радикалообразующей активности, способы выделения костного жира и синовиального выпота, определение коэффициента трения в модельных опытах «шар по диску» на вибротрибометре «Optimol SRV» (Швейцария) представлены ранее [4, 5].

Измерение момента кручения в узлах трения эндопротезов тазобедренного сустава выполнено на универсальной испытательной машине «ЦВИК 1464» в соответствии с национальным стандартом РФ [7].

В модельном опыте оценивали возможность подведения костного жира в узел трения эндопротеза тазобедренного сустава Мовшовича—Гаврюшенко, изготовленного ТОО «Медитем» (ТУ 9438-001-11417424-92). Особенностью конструкции данного эндопротеза является наличие в бедренном компоненте, шейке и головке сквозного артротомедулярного канала диаметром 4 мм, позволяющего соединить костномозговую полость бедренной кости и узел трения искусственного сустава.

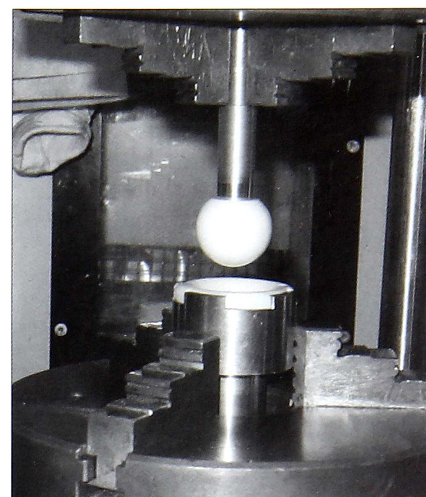
Достоверность различий при оценке смазывающей способности испытываемых лубрикантов оценивали по *t*-критерию Стьюдента для малых выборок.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для оценки смазывающей способности различных лубрикантов были взяты пары трения материалов, широко применяющиеся в настоящее время при изготовлении эндопротезов суставов. В табл. 1 представлены результаты экспериментов сравнительного определения смазочной способности синовиального экссудата и костного жира в различных парах трения.

Как видно из табл. 1, коэффициенты трения металлополимерных пар в отсутствие лубрикантов значительно ниже, чем пары трения кобальто-

Рис. 1. Испытания узла трения эндопротезов тазобедренного сустава в машине «ЦВИК 1464».



вый сплав — кобальтовый сплав. Установлено, что костный жир обладает выраженной смазочной способностью и эффективно снижает коэффициент трения в ряде испытанных образцов. Так, его присутствие в металлополимерной паре снижает коэффициент трения в 2,5–4 раза по сравнению с таковым при использовании воспалительного синовиального экссудата. В металл—металлической паре смазочная эффективность костного жира и экссудата практически одинакова.

Важным трибологическим параметром, определяющим должное функционирование тазобедренного сустава, является момент кручения пары трения имплантата. Для оценки влияния различных лубрикантов на этот показатель проведена серия опытов на испытательной машине «ЦВИК 1464» с использованием узлов трения ряда отечественных и зарубежных эндопротезов тазобедренного сустава (рис. 1).

Как видно из табл. 2, моменты кручения испытываемых эндопротезов в отсутствие лубрикантов имеют значения от 1,2 до 3 Нм. При введении синовиального выпота этот показатель заметно снижается, особенно в случае пары трения комохром — СВМПЭ. Видно также, что костный жир в качестве смазки значительно эффективнее выпота. Показатель момента кручения в присутствии костного жира по сравнению с воспалительным выпотом снижается в 2–3 раза, причем добавление костного жира к выпоту существенно улучшает его смазочные свойства.

В модельном опыте для оценки возможности подведения костного жира в узел подвижности ис-

Табл. 1. Влияние лубрикантов на коэффициент трения некоторых пар трения в системе «шар по диску» ($M \pm m$)

Пара трения	Без смазывания	Воспалительный синовиальный выпот	Костный жир
Кобальтовый сплав — СВМПЭ	0,160±0,020	0,100±0,003	0,040±0,003*
Кобальтовый сплав — Кобальтовый сплав	0,410±0,007	0,212±0,004*	0,23±0,014*
Нержавеющая сталь — СВМПЭ	0,156±0,010	0,153±0,002	0,042±0,003*

Примечание. * — достоверность различий по сравнению с результатами опытов без смазывания, $p < 0,05$.

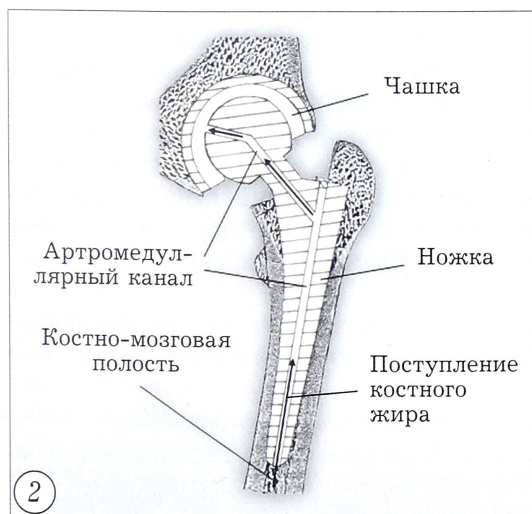
Табл. 2. Влияние различных биологических жидкостей на моменты кручения узлов трения эндопротезов тазобедренного сустава

Узел трения	Компания, страна		Без смазки	Синовиальный выпот	Костный жир	Костный жир + синовиальный выпот
	головка, размер	вкладыш				
Кобальтовый сплав по СВМПЭ	Zimmer, США		2,8	1,0	0,23	0,23
	Versys, 28	Trilogy				
	Smith & Nephew, США		1,7	0,52	0,20	0,27
	ITH, 32	UHMWPE				
	ЭСИ, РФ		1,24	0,48	0,20	0,22
	ТЭТБС ЦФ, 28	ТЭТБС ЦФ				
Нержавеющая сталь по СВМПЭ	Beznoska, Чехия		1,56	0,42	0,21	—
	Hlavice kovova, 28	Jamka kyč. kl.				
Керамика по СВМПЭ	Plus Endoprothetik, Швейцария		2,15	0,74	0,46	—
	Biologx® forte, 28	PE-Insert Standard				
	Феникс, РФ		2,96	1,14	0,51	—
	ЭТБС-МК, 32	ЭТБС-МК				

кусственного сустава использовали препарат бедренной кости человека, бедренный компонент, шейку и головку эндопротеза тазобедренного сустава Мовшовича—Гаврюшенко. Как уже упоминалось, конструкция эндопротеза через артродулярный канал обеспечивает сообщение костномозговой полости бедренной кости и узла трения искусственного сустава (рис. 2). В опыте бедренный компонент эндопротеза Мовшовича—Гаврюшенко с помощью костного цемента закрепляли в подготовленной костномозговой полости препарата бедренной кости. Для соединения артродулярного канала с костномозговой полостью образующую цементную мантию пробивали введенной в канал спицей. Через артродулярный канал заполняли

ли костным жиром костномозговую полость, монтировали шейку и головку эндопротеза. Подготовленный препарат кости с имплантатом подвергали сжатию до 3 кН (рис. 3, а). При воздействии силы на головку эндопротеза костный жир появлялся из выходного отверстия канала и далее распространялся на поверхность головки. Объем костного жира, выходящего из канала, увеличивался с ростом прикладываемого усилия (рис. 3, б).

Как отмечено ранее, износ и, соответственно, трибохимическое образование радикалов при функционировании имплантатов происходят постоянно. В силу этого для их нейтрализации необходимо непрерывное поступление ингибиторов в узел трения. Моделирование развития свобод-

**Рис. 2.** Схема поступления содержимого костномозговой полости в узел трения эндопротеза тазобедренного сустава Мовшовича—Гаврюшенко.**Рис. 3.** Поступление костного жира через канал за счет компрессии эндопротеза Мовшовича — Гаврюшенко, установленного в препарате бедренной кости человека.

а — перед компрессией; б — в ходе компрессии.

норадикальных реакций в ситуации, реализуемой при использовании эндопротеза с артротомическим каналом, осуществлялось с помощью реакции окисления кумола частицами кобальтового сплава (рис. 4). В отсутствие частиц износа кобальтового сплава окисление кумола не происходило (прямая 1), тогда как их внесение инициировало выраженное окисление углеводорода кумола (прямая 2). Введение в реакционную смесь костного жира вызывало немедленное ингибирование процесса окисления. По мере расходования антиоксидантов реакция окисления начинала ускоряться (отрезок 3). Повторные добавки в эти моменты костного жира обеспечивали постоянное ингибирование окислительной реакции (отрезки 4 и 5). После расходования антиоксидантов и в отсутствие последующего внесения жира частицы вновь инициировали окисление кумола (отрезок 6).

ОБСУЖДЕНИЕ

Смазочные свойства окружающей эндопротезы псевдосиновиальной жидкости значительно влияют на износ узла трения эндопротезов суставов. Анализ использованных в паре трения полиэтиленовых вкладышей обнаружил наличие в них значительного количества нейтральных липидов (эстерифицированных жирных кислот), адсорбированных, вероятно, из перипротезической жидкости [8]. Однако полагают, что смазочные свойства этой жидкости в целом недостаточны для эффективного смазывания узла трения эндопротезов [9], тогда как ее липидные компоненты, в том числе фосфолипиды, играют важную роль в смазывании имплантатов [10, 11]. Предполагают, что обнаруживаемая разница в эффективности и длительности функционирования имплантатов обусловлена различным содержанием фосфолипидов в псевдосиновиальной жидкости у разных пациентов [10].

Ранее в модельных опытах с использованием системы «шар по диску» установлено, что костный жир проявляет выраженные смазочные свойства в паре трения сталь—полиэтилен, формируя устойчивую смазывающую пленку на трущихся поверхностях [5, 6]. Проведенные в настоящей работе исследования выявили эффективность костного жира как смазки также в паре трения кобальтовый сплав — полиэтилен и кобальтовый сплав — кобальтовый сплав, т.е. во всех наиболее часто используемых в конструкциях современных имплантатов комбинациях материалов. В опытах установлено также существенное снижение костным жиром моментов вращений трущихся пар в эндопротезах тазобедренного сустава. Это согласуется с данными по определению указанного показателя в разных типах эндопротезов с применением различных смазок. Отмечалось, что бычий костный жир в 4 раза эффективней снижал момент вращения по сравнению с синовиальной жидкостью в

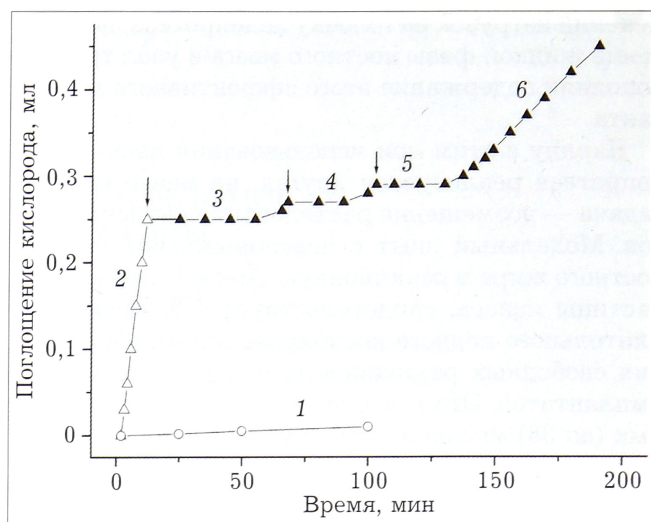


Рис. 4. Эффективность ингибирования окисления кумола частицами износа кобальтового сплава при введении костного жира (стрелки).

1 — окисление кумола в отсутствие частиц; 2 — окисление кумола в присутствии частиц без внесения жира; 3 — ингибирование окисления кумола при внесении жира; 4, 5 — ингибирование окисления кумола при последующих внесениях жира; 6 — инициирование окисления кумола.

узле трения металл по металлу [12]. Эта способность костного жира весьма важна, поскольку начало скольжения трущихся поверхностей после периода покоя характеризуется резким возрастанием момента вращения, действующего на компоненты эндопротезов [13]. Прикладываемое усилие способно вызвать расшатывание бедренного или ацетабулярного компонента, а снижение момента вращения узла трения будет повышать стабильность искусственных суставов.

Ранее нами была предложена конструкция эндопротеза тазобедренного сустава, делающая возможным поступление жидкой компоненты костного мозга к трущимся поверхностям имплантата [6]. В связи с непрерывным изнашиванием трущихся поверхностей, необходимым условием длительного и должного функционирования эндопротезов является постоянное поступление костного жира из костномозговой полости в узел трения имплантатов. Причиной, обеспечивающей такое движение жидкой фазы костного мозга, может быть, как обнаружено в эксперименте, приложенная к бедренной кости нагрузка. С помощью системы датчиков, помещенных в головки имплантированных 2 пациентам однополюсных эндопротезов тазобедренного сустава, удалось измерить давление, оказываемое искусственной головкой на различные участки хряща ацетабулярной впадины. Установлено, что при обычной ходьбе давление на отдельные участки хряща циклически возрастало до 5–6 МПа. При выполнении других движений (подъем по лестнице, вставание с кресла) показатели давления были еще выше [14]. Эти данные указывают, что предложенная конструкция имплантата с артротомическим каналом делает возможным постоянное, вследствие циклических из-

менений нагрузок на головку эндопротеза, поступление жидкой фазы костного мозга в узел трения, пополняя содержание этого эффективного лубриканта.

Наряду с этим при использовании данного эндопротеза реализуется другая, не менее важная задача — возмещение расхода антиоксидантов. Модельный опыт с повторными внесениями костного жира в реакционную смесь, содержащую частицы износа, свидетельствует о возможности длительного полного ингибирования им образования свободных радикалов на поверхности износа имплантатов. Это особенно важно в течение первых (до 36) месяцев после имплантации эндопротеза вследствие повышенного образования в этот период (период «приработки») частиц износа [15]. Именно в это время происходит особенно интенсивное трибохимическое генерирование свободных радикалов и необходимость в его подавлении, таким образом, появляется практически сразу после установки имплантата.

В целом полученные результаты обосновывают перспективность использования костного жира при имплантации искусственных суставов. Важное преимущество данного подхода заключается в том, что применение костного жира способно существенно уменьшить или полностью предупредить негативное действие нескольких повреждающих механизмов. Костный жир обладает выраженным лубрикационным свойством, существенно снижает момент вращения пары трения, ингибирует возникновение и развитие свободнорадикальных реакций. Таким образом, наличие в узле трения имплантатов собственного костного жира пациента, особенно в ранний постимплантационный период, может способствовать значительному улучшению результатов эндопротезирования суставов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Raimondi M.T., Vena P., Pietrabissa R. Quantative evaluation of the prosthetic head damage induce by microscopic third-body particles in total hip replacement. J. Biomed. Mater. Res. 2001; 58 (4): 436–448.
2. Mu Y., Kobayashi T., Sumita M., Yamamoto A., Hanawa T. Metal ion release from titanium with active oxygen species generated by rat macrophages in vitro. J. Biomed. Mater. Res. 2000; 49 (2): 238–243.
3. Jahan M.S., Wang C., Schwartz G., Davidson J.A. Combined chemical and mechanical effects on free

radicals in UHMWPE joint during implantation. J. Biomed. Mater. Res. 1991; 25(8): 1005–1017.

4. Булгаков В.Г., Гаврюшенко Н.С., Цепалов В.Ф., Шальнев А.Н. Трибохимический компонент развития окислительного стресса при имплантации искусственных суставов. Часть 1. Определение радикалообразующей способности частиц износа различных ортопедических материалов. Вестн. травматол. ортопед. 2010; 1: 44–48.
5. Гаврюшенко Н.С., Булгаков В.Г. Выявление и оценка роли артро-медуллярной связи в функционировании суставов человека (экспериментальное исследование). Вестн. травматол. ортопед. 2001; 2: 72–75.
6. Gavryushenko N.S. Recommendations with respect to the improvement of lubricating qualities of synovial fluid in artificial joints. Proc. Inst. Mech. grs (part H). 1993; 207: 111–114.
7. ГОСТ Р 52640-2006. Имплантаты для хирургии. Замещение сустава тотальным эндопротезом. Определение долговечности работы узла трения эндопротеза тазобедренного сустава методом оценки крутящего момента.
8. James S.P., Blazka S., Merrill E.W., Jasty M., Lee K.R., Bragdon C.R., Harris W.H. Challenge to the concept that UHMWPE acetabular components oxidize in vivo. Biomaterials. 1993; 14 (9): 643–647.
9. Scholes S.C., Unsworth A. Comparison of friction and lubrication of different hip prostheses. Proc. Inst. Mech. Eng. H. 2000; 214 (1): 49–57.
10. Bell J., Tipper J.L., Ingham E., Stone M.H., Fisher J. The influence of phospholipid concentration in protein-containing lubricants on the wear of ultra-high molecular weight polyethylene in artificial hip joints. Proc. Inst. Mech. Eng. H. 2001; 215 (2): 259–63.
11. Foy J.R., Williams P.F. 3rd, Powell G.L., Ishihara K., Nakabayashi N., LaBerge M. Effect of phospholipidic boundary lubrication in rigid and compliant hemiarthroplasty models. Proc. Inst. Mech. Eng. H. 1999; 213 (1): 5–18.
12. Andersson G.B., Freeman M.A.V., Swanson S.A.V. Loosening of the cemented acetabular cap in total hip replacement. J Bone Jt Surg Br. 1972; 54 (4): 590–599.
13. Nassutt R., Wimmer M.A., Schneider E., Morlock M.M. The influence of resting periods on friction in the artificial hip. Clin. Orthop. Relat. Res. 2003; (407): 127–138.
14. Morrell K.C., Hodge W.A., Krebs D.E., Mann R.W. Corroboration of in vivo cartilage pressures with implications for synovial joint tribology and osteoarthritis causation. Proc. Natl. Acad. Sci USA. 2005; 102 (41): 14819–14824.
15. Catelas I., Medley J.B., Campbell P.A., Huk O.L., Bobyn J.D. Comparison of in vitro with in vivo characteristics of wear particles from metal-metal hip implants. J. Biomed. Mater. Res. B Appl. Biomater. 2004; 70 (2): 167–178.

Сведения об авторах: Гаврюшенко Н.С. — профессор, доктор техн. наук, руководитель испытательной лаборатории; Булгаков В.Г. — канд. биол. наук, старший науч. сотр. отдела экспериментальной травматологии и ортопедии.
Для контактов: Гаврюшенко Николай Свиридович. Москва, ул. Приорова, дом 10. Тел.: 8 (495) 450-09-38. E-mail: testlabcito@mail.ru.