

Возможности аргументированного подхода к остеосинтезу шейки бедра резьбовыми фиксаторами с учётом механических и адаптационных свойств костной ткани

А.Ю. Акулич¹, Ю.В. Акулич², А.С. Денисов¹

Possibilities of substantiated approach to femoral neck osteosynthesis using threaded fixators in view of mechanical and adaptation bone tissue properties

A.Yu. Akulich, Yu.V. Akulich, A.S. Denisov

¹ ГОУ ВПО «Пермская государственная медицинская академия им. акад. Е.А. Вагнера Федерального агентства по здравоохранению и социальному развитию», г. Пермь, (ректор – заслуженный деятель науки РФ, д.м.н., профессор И.П. Корюкина),

² ГОУ ВПО «Пермский государственный технический университет», г. Пермь (ректор – д.т.н., профессор В.Ю. Петров)

Целью работы является изучение возможности индивидуального хирургического лечения переломов шейки бедра у лиц молодого и среднего возраста. В работе использовали предоперационное определение оптической плотности губчатой костной ткани проксимального отдела бедра с помощью цифровых технологий. На основании полученных данных выполнялось компьютерное моделирование динамики механических свойств, параметров структуры губчатой кости проксимального отдела бедра и усилия сжатия отломков резьбовыми фиксаторами. Индивидуализация хирургического лечения переломов шейки бедра выражалась в установке жёстких резьбовых фиксаторов с предварительно вычисленным моментом затягивания. В результате хирургического лечения переломов шейки бедра с применением данной технологии из 19 лиц молодого и среднего возраста у 18 больных отмечено сращение перелома. Таким образом, разработана методика, обеспечивающая индивидуальный подход к остеосинтезу переломов шейки бедра резьбовыми фиксаторами, позволяющая существенно снизить количество неблагоприятных исходов при остеосинтезе шейки бедра у лиц молодого и среднего возраста.

Ключевые слова: перелом шейки бедра, остеосинтез, адаптация губчатой костной ткани.

The aim of this work is to study the possibilities of individual surgical treatment of femoral neck fractures in subjects of young and middle age. The optical density of proximal femoral cancellous bone tissue was determined preoperatively using digital computer technologies. Computer modeling of the dynamics of mechanical properties, the parameters of proximal femoral cancellous bone structure and compression forces produced by threaded fixators was performed based on the data obtained. Individualization of the surgical treatment of femoral neck fractures consisted in applying rigid threaded fixators with the pre-calculated tightening moment. Fracture union was achieved in 18 subjects of young and middle age among 19 as a result of surgical treatment of femoral neck fractures using the technology mentioned. Thus, the technique has been developed providing an individual approach to osteosynthesis of femoral neck fractures by using threaded fixators and allowing to reduce significantly the number of unfavorable outcomes for femoral neck osteosynthesis in subjects of young and middle age.

Keywords: femoral neck fracture, osteosynthesis, cancellous bone tissue adaptation.

ВВЕДЕНИЕ

Общепринято, что оперативное лечение является наиболее предпочтительным способом лечения переломов шейки бедра. В пожилом возрасте рационально использовать тотальное эндопротезирование, в старческом возможно биполярное протезирование. У молодых пациентов и в среднем возрасте до 60 лет остеосинтез в первые 72 часа остаётся в силе. Показания к консервативному лечению сужены до абсолютных противопоказаний к операции и при отказе пострадавшего. Надёжная стабилизация отломков и эндопротезирование позволяют активизировать больных в раннем послеоперационном периоде [4]. Однако количество неблагоприятных исходов при использовании резьбовых фиксаторов для остеосинтеза переломов данной локализации

достаточно велико. Только несросшиеся переломы шейки бедра у лиц молодого и среднего возраста достигают 16 % случаев [7, 10, 11].

Одной из причин нарушения процессов консолидации отломков при переломах шейки бедра является нестабильность фиксатора, обусловленная снижением жёсткости конструкции «кость-фиксатор-кость». Это, в свою очередь, приводит к возникновению переменных механических воздействий имплантата на кость, вызывающих её рассасывание и замещение грануляционной тканью [5]. Известно, что стабильность фиксации при остеосинтезе переломов шейки бедра резьбовыми фиксаторами является одним из важных факторов, обеспечивающих благоприятное течение репаративной регенерации.

Стабильность достигается выгодным расположением фиксаторов и рациональным усилием при закручивании имплантатов. Однако сложно учесть индивидуальные прочностные и адаптационные свойства костной ткани, которые обусловлены особенностями структуры, механическими и биологическими свойствами костной ткани [9]. Стремление обеспечить достаточную жёсткость фиксации привела на практике к установке фиксаторов с моментом закручивания, который сложно контролировать. При такой технике вполне вероятна ситуация, когда давление гребней резьбы на губчатую костную ткань в головке бедра может привести к возникновению в губчатой кости высоких значений напряже-

ний, вызывающих резорбцию костной ткани с потерей стабильности имплантатов [1, 2, 6].

Таким образом, снижение уровня отрицательных исходов лечения переломов шейки бедра видится в поиске способа установки фиксаторов, который обеспечивает высокую стабильность имплантата в течение всего процесса сращения.

Цель исследования – изучение возможности индивидуализации выбора вариантов хирургического лечения переломов шейки бедра у лиц молодого и среднего возраста с использованием компьютерного моделирования механических свойств и структуры губчатой кости проксимального отдела бедра, подвергнутой сжатию резьбовыми фиксаторами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Нами разработана методика индивидуального прогноза адаптационных изменений губчатой костной ткани проксимального отдела бедра, подвергнутого сжатию резьбовыми фиксаторами. Методика основана на математическом моделировании с использованием экспериментально полученных зависимостей параметров структуры и прочностных свойств губчатой костной ткани по её оптической плотности в рентгеновском изображении [1, 2]. В математической модели принята следующая модель структуры губчатой костной ткани: в сплошном однородном матриксе расположены сферические поры радиуса r , заполненные жидкостью. Структура костной ткани неоднородна, то есть, величина среднего радиуса пор и удельное количество пор на единицу объёма n (плотность пор) неодинаковы в различных участках губчатой костной ткани. Величины r и n являются параметрами структуры костной ткани.

Предоперационное планирование

Выполняется рентгенография проксимального отдела бедра в двух стандартных проекциях с использованием ступенчатого клина-эталоны с известной толщиной ступеней и плотностью материала. В качестве эталона плотности использовали многоступенчатый клин, изготовленный из алюминиевого сплава известной плотности. Цифровые изображения рентгенограмм проксимального отдела бедра анализировались на персональном компьютере с помощью программы Image Tools. По рентгенограмме в боковой проекции определялись диаметр головки, толщина шейки и вертельной зоны. За эталон длины принималось изображение клина. Для последующего компьютерного моделирования адаптационных процессов на рентгенограмме тазобедренного сустава в прямой проекции выделялись пять участков прямоугольной формы приблизительно однородной оптической плотности (рис. 1). Кроме того, выделялся шестой участок в виде спиралевидной ленты, расположенной под витками резьбы фиксаторов.

С помощью программы Image Tools и цифровых изображений двух рентгенограмм определялись объёмные оптические плотности каждого участка. Полученные данные служили входной информаци-

ей программного обеспечения «Остеосинтез шейки бедра – I», моделирующего динамику изменения во времени радиуса пор, пористости, плотности, модуля упругости, губчатой кости, касательного напряжения разрушения, а так же осевой силы сжатия фрагментов при определённом моменте закручивания фиксаторов [1]. С помощью этого программного обеспечения определяется также индивидуальная величина наибольшего момента закручивания фиксатора M , при которой обеспечивается наибольшая прочность фиксации отломков в течение всего процесса сращения, и при этом пористость кости и её прочность остаются в пределах нормы [9].

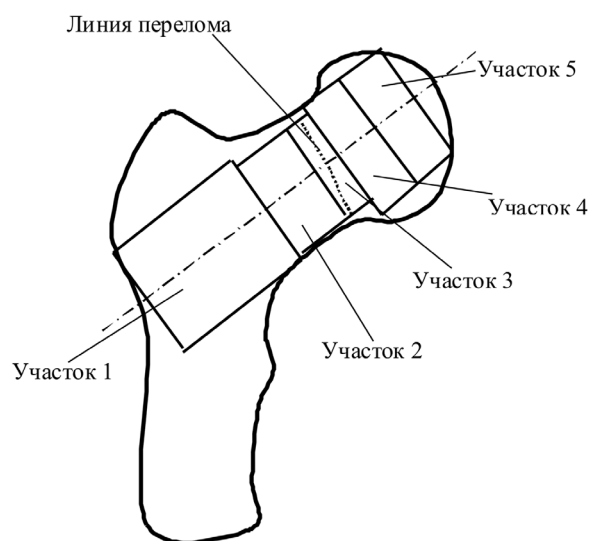


Рис. 1. Схема разделения рентгенограммы проксимального отдела бедра на пять участков в прямой проекции

Установка фиксаторов

Методика операции остеосинтеза шейки бедра резьбовыми фиксаторами с дозированной межфрагментарной фиксацией состояла в следующем. Под регионарной анестезией под контролем электронно-оптического преобразователя (ЭОП) на ортопедическом столе выполнялась закрытая репозиция шейки бедра. При устранении смещения отломков фиксацию их осуществляли из мини-доступа. Выполняли прямой вертикальный разрез в подвертельной области. Использовали канюлиро-

ванные винты для губчатой кости, их имплантация выполнялась по методике АО с использованием направителя для спиц и канюлированного инструментария. В качестве приспособлений, дозирующих величину усилия затягивания фиксаторов, использовали динамометрические ключи измерительного и предельного типов. С помощью ключа измерительного типа регистрировали момент

трения между губчатой костью и металлом в витках резьбы фиксатора. С помощью динамометрического ключа предельного типа с установленной на нём предварительно рассчитанной величиной момента производили окончательное затягивание фиксаторов после касания головкой винта опорной шайбы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

За период с 2009 по 2011 год в клинике травматологии и ортопедии наблюдались и лечились 263 человека с переломами шейки бедра. Для распределения больных по возрасту использовали классификацию ВОЗ [3]. Довольно значительное количество травмированных оказались в молодом и среднем возрасте – 52 (19,8 %). Почти половину всех больных с переломами шейки бедра составили пожилые – 127 (48,3 %). Оперативное лечение выполнено 168 (64 %) больным. Больным в возрасте до 60 лет выполняли репозицию и фиксацию отломков с использованием резьбовых фиксаторов. Больным старше 60 лет, а также более молодым при позднем (более 72 часов от момента травмы) обращении выполняли тот или иной вариант эндопротезирования тазобедренного сустава. По вышеописанной методике оперировано 19 из 52 больных, что составило 36,5 %. Возраст больных составил в среднем 50,3 года. Результаты оперативного лечения оценивали через четыре и 12 месяцев после операции. Оценку результатов через четыре месяца проводили путём контрольной рентгенографии тазобедренного сустава в двух проекциях с визуальной оценкой расположения фиксаторов и положения отломков, а также степени консолидации. Также выполнялось компьютерное исследование рентгенограмм для определения параметров структуры и прочности губчатой костной ткани проксимального отдела бедра для определения точности предоперационного прогноза их динамики. Получено качественное соответствие прогнозируемых и зафиксированных данных. На данном этапе у одного из больных данной группы наступило вторичное смещение отломков и миграция конструкций. Причиной неблагоприятного исхода стало нарушение режима – преждевременная нагрузка на конечность весом тела. Через 12 месяцев после операции определяли степень восстановления функции тазобедренного сустава по шкале Обинье [8]. Выполняли контрольную рентгенографию тазобедренного сустава в прямой и, при необходимости, в боковой проекциях для визуального анализа расположения фиксаторов, уточнения степени консолидации. У 14 человек прослежены результаты в срок четыре месяца, у девяти – в срок 12 месяцев. Неблагоприятный исход наблюдали в одном вышеописанном случае. У остальных 13 больных через четыре месяца после операции положение отломков осталось прежним, миграции фиксаторов не зафиксировано, наблю-

далось характерное для данного срока течение репаративной регенерации. Из больных, осмотренных через год после операции, у одного отмечено сращение перелома в варусной позиции с укорочением бедра на 1 см, у остальных – сращение наступило в правильном положении, функция тазобедренного сустава оценена как хорошая.

Изложенная выше технология остеосинтеза шейки бедра была применена больному с диагнозом: закрытый субкапитальный перелом шейки бедра слева со смещением (рис. 2).



Рис. 2. Больной В., 55 лет. Предоперационная рентгенограмма в прямой проекции проксимального отдела левого бедра с клином-эталонном

Результаты предоперационного обследования, необходимые для расчётов, оформлены в виде Протокола (табл. 1).

Плотность костной ткани участков 5 и 6 головки бедра пациента имеет в среднем невысокий уровень, а в участках 1 и 4 достигает минимальных значений. Пониженная плотность предполагает низкие значения механических свойств кости данного пациента, в частности, прочности на срез костной ткани головки бедра. Поэтому выбор величины максимального момента установки фиксаторов ограничивался именно прочностью кости на срез в области вершин резьбы фиксаторов. Предел прочности губчатой костной ткани по касательным напряжениям τ в головке бедра (у части 4 и 5) равен 2,6 МПа. Момент затягивания фиксаторов у данного больного составил 87,4 сНм. Коэффициент запаса прочности при этом равен 1,4, а сила межфрагментарного стабилизирования составила 1875 Н. Предполагаемое изменение пористости в послеоперационном периоде представлено на рисунке 3.

Таблица 1

Протокол предоперационного обследования

Данные предоперационного обследования						
Пол, возраст, вес (кг), дата	муж., 55 лет, 75 кг, 01.06.2009					
Номер участка	1	2	3	4	5	6
Оптическая плотность участков, г/см ³	0,27	0,41	0,39	0,29	0,36	0,36
Длины участков, мм	42	14	3	18	18	-
Диаметры участков, мм	43	40	40	54	54	-
Длины резьбовой части фиксатора, мм	16					

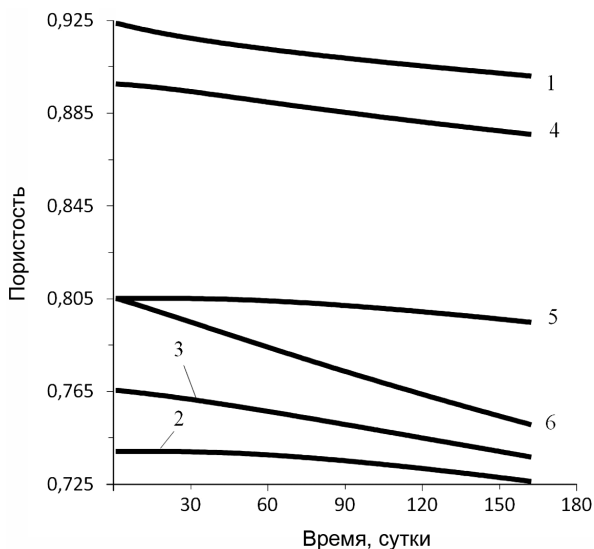


Рис. 3. Прогнозируемое изменение в послеоперационном периоде пористости отломков кости. Примечание: цифры у кривых обозначают номера участков

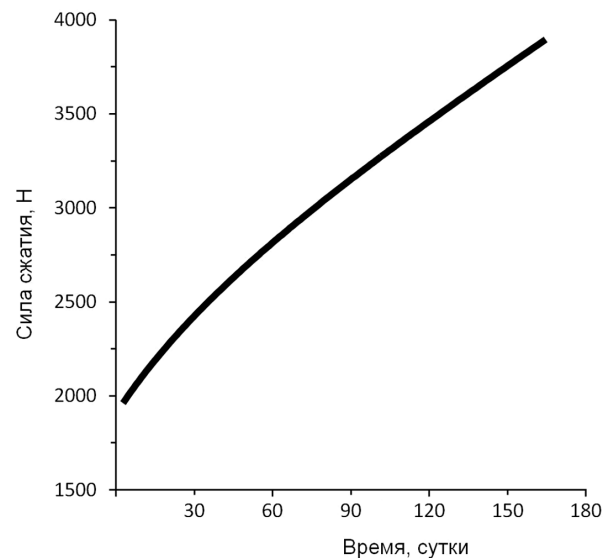


Рис. 4. Прогнозируемое изменение в послеоперационном периоде усилия сжатия отломков кости

Кривые показывают, что во всех участках кости пористость уменьшается. Наибольшая интенсивность уплотнения костной ткани наблюдается под резьбой фиксаторов (участок 6), поскольку в этой области процесс формирования матрикса протекает более активно. Усилие сжатия отломков непрерывно возрастает с уменьшающейся скоростью в течение первых двух месяцев, а затем скорость роста остаётся постоянной (рис. 4). В то же время нигде в кости не наблюдается очагов резорбции. Важно подчеркнуть, что все участки кости участвуют в создании усилия сжатия отломков и, следовательно, определяют условия сращения перелома.

Таким образом, при установке фиксаторов с моментом 87,4 сНм у данного пациента создаются благоприятные биомеханические условия сращения отломков и предпосылки для успешного лечения в целом. После предоперационного обследования и последующих расчётов величин максимальных моментов закручивания по вышеописанной технологии были установлены три жёстких резьбовых фиксатора. С целью проверки адекватности компьютерного прогноза адаптационных изменений в кости в послеоперационном периоде через 163 дня после операции по изложенной выше методике был осуществлен анализ рентгенограммы проксимального отдела оперированного бедра (рис. 5).

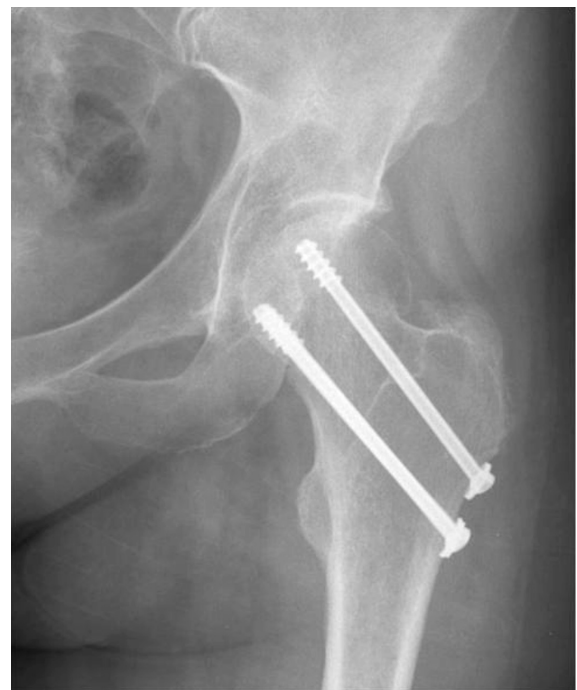


Рис. 5. Больной В., 55 лет. Рентгенограмма проксимального отдела бедра в прямой проекции через 163 дня после остеосинтеза шейки бедра. Отмечается сращение перелома

При помощи цифрового анализа рентгенограмм определены значения объёмной оптической плотности всех шести участков проксимального отдела бедра (табл. 2).

Расчётные и экспериментальные средние значения объёмной оптической плотности шести участков проксимального отдела бедра больного В. (г/см³)

Величины	Номер участка					
	1	2	3	4	5	6
Данные Протокола	0,27	0,41	0,39	0,29	0,36	0,36
Прогноз	0,29	0,42	0,41	0,31	0,37	0,40
Эксперимент	0,55	0,44	0,61	0,38	0,57	0,42
Отклонение данных прогноза и данных протокола, %	7,4	2,4	5,1	6,9	2,8	11,1
Отклонение экспериментальных данных и данных прогноза, %	47,2	4,5	32,8	18,4	35,1	4,8

В строке «Прогноз» приведены расчётные значения этой величины, полученные в результате математического моделирования на этапе предоперационного планирования. В строке «Эксперимент» приведены средние значения объёмной оптической плотности шести участков проксимального отдела бедра, полученные при анализе рентгенограмм через 163 дня. При анализе данных таблицы 2 выявлено, что прогнозируемая оптическая плотность превышает её предоперационные значения во всех участках кости, что соответствует прогнозируемому уплотнению костной ткани (рис. 4). Численные значения прогнозируемого роста оптической плотности (табл. 2) показывают, что наибольший рост (11,1 %) наблюдается в костной ткани под резьбой фиксаторов (участок 6), где установлена наибольшая активность адаптационного процесса. Из сравнения прогнозируемых и экспериментальных значений объёмной оптической плотности видно превышение экспериментальных значений над прогнозируемыми

во всех шести участках кости. Этот результат подтверждает качественное соответствие расчётных и экспериментальных значений. В то же время наблюдаются значительные количественные превышения экспериментальных значений над прогнозируемыми (до 47,2 % в подвертельной области). Достаточно минерализованная кость при прочих равных условиях имеет более высокое значение объёмной минеральной плотности. Поскольку в данном исследовании не учитывается изменение минеральной компоненты состава кости в процессе репаративной регенерации, расчётные значения оказались ниже экспериментальных. Очевидно, и при сращении кости процесс минерализации вносит более весомый вклад в состояние её плотности, чем уменьшение пористости.

Большой повторно осмотрен через 12 месяцев после операции. Функция тазобедренного сустава по шкале Обинье признана хорошей, больной продолжает работать по специальности.

ВЫВОДЫ

Представлен способ остеосинтеза шейки бедра, позволяющий осуществить установку резьбовых фиксаторов путём подбора индивидуального значения момента закручивания им-плантата. При этом обеспечиваются оптимальные условия сращения (отсутствие резорбции в головке бедра и постоянство умеренной ком-прессии), а пористость и прочность кости остаются в пределах нормы.

Поскольку все участки кости участвуют в создании усилия сжатия отломков и, следовательно, определяют условия сращения перелома, моделирование остеосинтеза шейки бедра является не только необходимым, но и единственным средством определения требуемой индивидуальной величины момента

закручивания фиксаторов.

Анализируя первые результаты применения дозированной фиксации при остеосинтезе шейки бедра резьбовыми имплантатами, мы отметили отсутствие несращения и ранней вторичной дислокации костных фрагментов и металлоконструкций у всех оперированных больных. Неблагоприятный исход мы не включили в разра-ботку, поскольку больным были грубо нарушены сроки осевой нагрузки конечности. Можно сказать, что применение дозированной фиксации при остеосинтезе шейки бедра у лиц молодого и среднего возраста позволит существенно снизить количество неблагоприятных исходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акулич Ю. В., Акулич А. Ю., Денисов А. С. Адаптационные изменения свойств костной ткани фрагментов кости после остеосинтеза шейки бедра жёсткими резьбовыми фиксаторами // Механика композиционных материалов и конструкций. 2008. Т. 14, № 3. С. 313-331.
2. Акулич А. Ю., Акулич Ю. В., Денисов А. С. Определение параметров структуры губчатой кости проксимального отдела бедра человека по оптической плотности рентгенологического изображения // Известия высш. учеб. заведений (Поволжский регион. Серия Медицинские науки). 2007. №1. С. 3-11.
3. Валентей Д. И. Демографический энциклопедический словарь. М.: Сов. энцикл., 1985. С. 35-39.
4. Остеосинтез в лечении переломов шейки бедра /А. В. Скороглядов [и др.] // Рос. мед. журнал. 2008. № 4. С. 53-56.
5. Шерепов К. М. Резорбция костной ткани при использовании титановых фиксаторов // Мед. техника. 1998. № 3. С. 10-15.
6. Численное прогнозирование перемещения вертлужной чашки под действием высоких сжимающих напряжений на основе моделирования резорбции костной ткани / Д.- И. Джанг [и др.] // Рос. журн. биомеханики. 2005. Т. 9, № 3. С. 32-45.
7. Andersen E. Fixation of displaced femoral neck fractures // Acta orthop. scand. 1987. Vol. 58. P. 212-216.
8. D'Aubigne M.R., Postel M. Functional results of hip arthroplasty with acrylic prosthesis // J. Bone Joint Surg. Am. 1954. Vol. 36-A, No 3. P. 451-475.
9. Martin R.B., Burr D.B., Sharkey N.A. Skeletal tissue mechanics. New-York : Springer, 1998. P. 347.
10. Nordkild P., Sonne-Holm S. Necrosis of femoral head following fracture of the femoral neck // Injury. 1986. Vol. 17. P. 345-348.
11. Osteosynthesis of femoral neck fracture (the sliding-screw-plate with or without compression) / E. Andersen [et. al] // Acta orthop. scand. 1984. Vol. 51. P. 620-623.

Рукопись поступила 17.01.2012.

Сведения об авторах:

1. Акулич Антон Юрьевич – МУЗ «Медико-санитарная часть № 9 им. М.А. Тверье», г. Пермь, ординатор отделения травматологии.
2. Акулич Юрий Владимирович – ГОУ ВПО «Пермский государственный технический университет», г. Пермь, кафедра теоретической механики, к.т.н., профессор.
3. Денисов Александр Сергеевич – ГОУ ВПО «Пермская государственная медицинская академия им. акад. Е.А. Вагнера федерального агентства по здравоохранению и социальному развитию», г. Пермь, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и ВПХ, д.м.н., профессор.