



Мультиспиральная компьютерная томография в оценке сморщивания титанового импланта при протезирующей герниопластике

Никитин П.А.¹, Нуднов Н.В.², Знаменский И.А.^{1,3}, Азимов Р.Х.¹, Карпова А.А.¹, Аверин Е.Е.¹

¹ ФГБНУ «Центральная клиническая больница» Российской академии наук, Литовский б-р, 1А, Москва, 117593, Российская Федерация

² ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России, ул. Профсоюзная, 86, Москва, 117997, Российская Федерация

³ ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, ул. Островитянова, 1, Москва, 117997, Российская Федерация

Никитин Павел Алексеевич, врач-рентгенолог ФГБНУ «Центральная клиническая больница» РАН; <http://orcid.org/0000-0003-1809-6330>

Нуднов Николай Васильевич, д. м. н., профессор, зам. директора по научной работе ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России; <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Знаменский Игорь Альбертович, д. м. н., врач-радиолог, заведующий отделением радионуклидных методов диагностики ФГБНУ «Центральная клиническая больница» РАН, профессор кафедры лучевой диагностики и терапии ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России; <http://orcid.org/0000-0003-0305-6723>

Азимов Рустам Хасанович, к. м. н., заведующий отделением хирургии ФГБНУ «Центральная клиническая больница» РАН;

Карпова Анастасия Анатольевна, врач-рентгенолог ФГБНУ «Центральная клиническая больница» РАН; <https://orcid.org/0000-0002-0251-254X>

Аверин Евгений Евгеньевич, д. м. н., начальник научно-образовательного центра ФГБНУ «Центральная клиническая больница» РАН; <https://orcid.org/0000-0002-6595-6471>

Резюме

Цель: на основании данных мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) количественно определить сморщивание титановых сетчатых эндопротезов «титановый шелк» в позднем послеоперационном периоде у пациентов после паховой герниопластики.

Материал и методы. Проведена сравнительная оценка отдаленных результатов лечения 90 пациентов с паховыми грыжами по данным МСКТ. В 1-ю группу включены 36 (40%) больных, которым была выполнена открытая пластика пахового канала по Лихтенштейну. Во 2-ю группу вошли 54 (60%) пациента после лапароскопической паховой герниопластики. МСКТ-исследование с последующим определением площади импланта выполняли на 3-й день и через 3 мес после операции.

Результаты. Процент сморщивания эндопротеза «титановый шелк» через 3 мес после выполнения хирургического лечения по данным МСКТ составил 4,4% при открытой паховой герниопластике по Лихтенштейну и 8,3% при лапароскопической паховой герниопластике. При анализе с использованием теста Краскела–Уоллиса статистически значимого отличия значений данного показателя в группах не выявлено ($p = 0,185$).

Заключение. Анализ отдаленных результатов лечения паховых грыж с использованием импланта «титановый шелк» по данным МСКТ показал, что площадь титановых эндопротезов статистически достоверно уменьшается через 3 мес после операции. Процент сморщивания импланта не зависит от типа выполняемой протезирующей паховой герниопластики. Показана эффективность МСКТ для оценки размеров сетчатого титанового эндопротеза у пациентов после проведения паховой герниопластики.

Ключевые слова: мультиспиральная компьютерная томография, паховая грыжа, сетчатый титановый имплант, герниопластика.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Участие авторов. Авторы внесли равноценный вклад в подготовку статьи для публикации.

Для цитирования: Никитин П.А., Нуднов Н.В., Знаменский И.А., Азимов Р.Х., Карпова А.А., Аверин Е.Е. Мультиспиральная компьютерная томография в оценке сморщивания титанового импланта при протезирующей герниопластике. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2021; 102(6): 377–82. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-6-377-382>

Для корреспонденции: Никитин Павел Алексеевич, E-mail: paul2003@mail.ru

Статья поступила 02.12.2021

После доработки 21.12.2021

Принята к печати 22.12.2021

Multi-Slice Computed Tomography in Assessing Mesh Titanium Implant Shrinkage After Prosthetic Inguinal Hernioplasty

Pavel A. Nikitin¹, Nikolay V. Nudnov², Igor A. Znamenskiy^{1, 3}, Rustam Kh. Azimov¹, Anastasia A. Karpova¹, Evgeniy E. Averin¹

¹ Central Clinical Hospital, Russian Academy of Sciences, Litovskiy bul'var, 1A, Moscow, 117593, Russian Federation

² Russian Scientific Center of Roentgenoradiology, ul. Profsoyuznaya, 86, Moscow, 117997, Russian Federation

³ Pirogov Russian National Research Medical University, ul. Ostrovityanova, 1, Moscow, 117997, Russian Federation

Pavel A. Nikitin, Radiologist, Central Clinical Hospital, Russian Academy of Sciences; <http://orcid.org/0000-0003-1809-6330>

Nikolay V. Nudnov, Dr. Med. Sc., Professor, Deputy Director for Research, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology; <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Igor A. Znamenskiy, Dr. Med. Sc., Radiologist, Head of Department of Radionuclide Diagnostic Methods, Central Clinical Hospital, Russian Academy of Sciences; Professor, Chair of Radiation Diagnostics and Therapy, Pirogov Russian National Research Medical University; <http://orcid.org/0000-0003-0305-6723>

Rustam Kh. Azimov, Cand. Med. Sc., Head of Department of Surgery, Central Clinical Hospital, Russian Academy of Sciences;

Anastasia A. Karpova, Radiologist, Central Clinical Hospital, Russian Academy of Sciences; <https://orcid.org/0000-0002-0251-254X>

Evgeniy E. Averin, Dr. Med. Sc., Head of Scientific and Educational Center, Central Clinical Hospital, Russian Academy of Sciences; <https://orcid.org/0000-0002-6595-6471>

Abstract

Objective: to assess the percentage of mesh “titanium silk” implant shrinkage after inguinal hernia repair surgery in the late postoperative period using multi-slice computed tomography (MSCT).

Material and methods. The comparative assessment of the long-term results of treatment in 90 patients with inguinal hernias was performed using MSCT. In 36 (40%) patients of Group 1 the titanium implant was used in Lichtenstein hernia repair surgery. In Group 2, 54 (60%) patients were operated by laparoscopic hernia repair surgery. On day 3 and 3 months after surgery every patient underwent MSCT with subsequent determination of the implant square.

Results. The percent of mesh “titanium silk” implant shrinkage 3 months after surgery according to MSCT was 4.4% in Lichtenstein hernia repair group, and 8.3% in laparoscopic hernia repair group. According to Kruskal-Wallis test, there were no statistic differences of this indicator between two groups ($p = 0,185$).

Conclusion. The analysis of long-term results of inguinal hernia repair surgery with titanium mesh implants using MSCT showed that implant square significantly decreases 3 months after surgery. There were no significant differences in implants shrinkage regarding the type of surgery. MSCT is an effective method for evaluating the size of mesh titanium implants after hernia repair surgery.

Keywords: multi-slice computed tomography, inguinal hernia, mesh titanium implant, hernioplasty.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Author contributions. The authors made an equal contribution to the preparation of the article for publication.

For citation: Nikitin PA, Nudnov NV, Znamenskiy IA, Azimov RKh, Karpova AA, Averin EE. Multi-slice computed tomography in assessing mesh titanium implant shrinkage after prosthetic inguinal hernioplasty. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2021; 102(6): 377–82 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-6-377-382>

For corresponding: Pavel A. Nikitin, E-mail: paul2003@mail.ru

Received December 2, 2021

Revised December 21, 2021

Accepted December 22, 2021

Введение

Грыжей передней брюшной стенки (ПБС) называется пролабирование органов брюшной полости и париетального листка брюшины через слабые места в мышечно-апоневротическом слое. Слабые места ПБС могут быть как анатомически естественными (промежутки либо отверстия), так

и приобретенными в результате атрофии, травмы или операции [1, 2]. Грыжи передней брюшной стенки, в частности паховые грыжи, являются одной из самых распространенных патологий у населения, требующей хирургического лечения. Частота развития паховых грыж у мужчин достигает 27%, у женщин – до 3%. Частота возникновения паховых

грыж у взрослого трудоспособного мужского населения приближается к 25%.

Единственным эффективным методом лечения грыж передней брюшной стенки является хирургическое вмешательство. Оно направлено на устранение грыжевого выпячивания, вправление внутренних органов в брюшную полость и пластику грыжевых ворот [1, 3]. Методами хирургического лечения грыж ПБС являются: протезирующая ненатяжная герниопластика (различные виды сетчатых имплантов), аллопластика (собственными тканями) и комбинированный способ [3]. На настоящий момент наиболее популярный в хирургическом сообществе метод – это протезирующая паховая герниопластика с применением сетчатого полипропиленового импланта. Начало активного применения полипропиленовых сетчатых имплантов повлияло на снижение частоты осложнений и улучшение качества жизни пациентов [4–6]. Однако до сих пор остается нерешенным вопрос о сморщивании данного типа эндопротезов, приводящем к развитию рецидивов, частота которых достигает 32% [1].

С 2013 г. в Российской Федерации начали применять отечественный сетчатый эндопротез «титановый шелк», изготовленный из титановых нитей. В процессе многочисленных экспериментальных исследований ученые пришли к выводу, что «титановый шелк» обладает рядом преимуществ перед полипропиленовыми сетчатыми имплантами, в частности гипоаллергенностью и более высокой прочностью [7, 8]. Основной проблемой хирургического лечения грыж ПБС является рецидивирование заболевания по причине постепенного сморщивания сетчатых имплантов [6].

Для оценки состояния сетчатых имплантов в дооперационном и послеоперационном периодах широко применяются инструментальные методы диагностики, такие как ультразвуковое исследование, рентгенодиагностика, магнитно-резонансная томография [9, 10]. Титановые эндопротезы являются рентгеноконтрастными, что позволяет проводить анализ в раннем и позднем послеоперационных периодах по данным мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ). В раннем послеоперационном периоде проведение МСКТ-исследования направлено на выявление послеоперационных осложнений с целью их устранения для последующего правильного формирования соединительной ткани в области установленного импланта. Благодаря высокой разрешающей способности МСКТ открылись дополнительные возможности достоверного определения положения и сморщивания эндопротезов для прогнозирования риска развития рецидивов [6, 11].

Цель исследования – на основании данных МСКТ количественно определить сморщивание

титановых сетчатых эндопротезов «титановый шелк» в позднем послеоперационном периоде у пациентов после паховой герниопластики.

Материал и методы

В исследовании, выполненном в Центральной клинической больнице РАН, участвовали 90 пациентов, которым была проведена паховая герниопластика с использованием титанового протеза. Больные были разделены на две группы в зависимости от типа выполняемого хирургического вмешательства. В 1-ю группу включены 36 (40%) пациентов, которым выполнена открытая пластика пахового канала по Лихтенштейну. Во 2-ю группу вошли 54 (60%) больных, которым проведена лапароскопическая паховая герниопластика. Пациенты исследуемых групп были сопоставимы по полу и возрасту.

Всем больным проведено МСКТ-исследование органов брюшной полости на компьютерном томографе Ingenuity Core 64 (Philips, Нидерланды) со стандартными параметрами: толщина среза 0,15 см, зона исследования от уровня XII грудного позвонка до уровня шеек бедренных костей. МСКТ выполняли через 3 сут и через 3 мес после протезирующей паховой герниопластики. Интерпретацию изображений осуществлял врач-рентгенолог на специализированной рабочей станции.

Площадь импланта рассчитывали с использованием разработанной стандартной методики по формуле:

$$S = A \times B,$$

где S – площадь импланта (см^2), A – среднее арифметическое значение поперечного размера (см), B – среднее арифметическое значение длины (см).

Частоту сморщивания титанового эндопротеза через 3 мес после герниопластики определяли по формуле:

$$Y = 100 - \frac{S_2}{S_1} \times 100,$$

где Y – процент сморщивания импланта через 3 мес после операции относительно показателя раннего послеоперационного периода (%), S_1 – площадь импланта на 3-е сутки после операции (см^2), S_2 – площадь импланта через 3 мес после операции (см^2).

Для определения достоверности разработанной методики МСКТ-оценки площади эндопротезов было проведено экспериментальное исследование на пяти тушах свиней, которое включало четыре этапа:

- 1) выполнение паховой герниопластики с использованием титанового эндопротеза;
- 2) оценка площади эндопротеза по данным МСКТ;

- 3) определение площади импланта на вскрытии;
4) сравнение полученных результатов.

Для статистической обработки полученных данных использовали статистическую программу Jamovi (JamoviStats, Австралия). Применяли методы описательной статистики для всех исследуемых переменных: среднее арифметическое (M), стандартное отклонение (m), медиана распределения (Me), межквартильный (25–75%) размах и разброс. Проверку статистической значимости полученных результатов при нормальном распределении значений проводили с помощью Т-критерия Стьюдента для парных зависимых выборок, при непараметрическом распределении значений – с помощью теста Краскела–Уоллиса и теста Вилкоксона для зависимых выборок с последующим определением достигнутого уровня статистической значимости (p).

Результаты

Площадь импланта в раннем послеоперационном периоде (3 сут) по данным МСКТ составила 42,0 см² [40,7; 34,1–49,7] при открытой паховой герниопластике по Лихтенштейну и 63,9 см² [57,8; 47,9–74,3] при лапароскопической паховой герниопластике. При анализе полученных данных с использованием теста Краскела–Уоллиса выявлено, что группы статистически значимо отличаются по

площади эндопротеза в раннем послеоперационном периоде (p < 0,001).

Площадь импланта по данным МСКТ-исследования через 3 мес после хирургического лечения составила 40,2 см² [40,8; 30,9–47,6] в 1-й группе и 58,3 см² [51,2; 44,3–69,7] во 2-й группе. При анализе полученных данных с использованием теста Краскела–Уоллиса установлено, что группы статистически значимо отличаются по площади импланта через 3 мес после операции (p < 0,001).

При сравнении площади на 3-е сутки после операции и через 3 мес после операции при помощи парного критерия Вилкоксона для связанных выборок выявлено, что площадь эндопротеза на 3-е сутки статистически значимо больше площади через 3 мес (p < 0,001) (табл. 1).

На основании полученных данных проведен расчет частоты сморщивания имплантов. Значение этого показателя через 3 мес после выполнения хирургического лечения составило 4,4% [2,9; 0,0–8,1] в 1-й группе и 8,3% [6,1; 0,6–10,3] во 2-й группе. При сравнении полученных результатов между собой с использованием теста Краскела–Уоллиса установлено, что процент сморщивания импланта через 3 мес после проведения хирургического лечения в группах статистически значимо не отличается (p = 0,185) (табл. 2).

Таблица 1

Площадь импланта по данным мультиспиральной компьютерной томографии, см²

Table 1

Square of "titanium silk" mesh implant according to multi-slice computed tomography, cm²

Группы пациентов / Patient groups	На 3-е сутки после операции / Day 3 after surgery		Через 3 мес после операции / 3 months after surgery	
	M ± m	Me [25–75%]	M ± m	Me [25–75%]
Открытая паховая герниопластика / Open inguinal hernioplasty	42,0 ± 11,5	40,7 [34,1–49,7]	40,2 ± 11,8	40,8 [30,9–47,6]
Лапароскопическая паховая герниопластика / Laparoscopic inguinal hernioplasty	63,9 ± 21,7	57,8 [47,9–74,3]	58,3 ± 20,5	51,2 [44,3–69,7]

Таблица 2

Процент сморщивания имплантов, %

Table 2

Percentage of "titanium silk" mesh implant shrinkage, %

Группы пациентов / Patient groups	Частота сморщивания импланта / Percentage of implant shrinkage	
	M ± m	Me [25–75%]
Открытая паховая герниопластика / Open inguinal hernioplasty	4,4 ± 9	2,9 [0–8,1]
Лапароскопическая паховая герниопластика / Laparoscopic inguinal hernioplasty	8,3 ± 10,3	6,1 [0,6–10,3]

В эксперименте площадь импланта после выполнения паховой герниопластики при прямых замерах в организме подопытного животного составила 94,8 см² [95,2; 94,7–95,3]. Площадь импланта после проведения паховой герниопластики по данным МСКТ составила 94,3 см² [94,2; 93,1–94,3].

При анализе групп с использованием Т-критерия Стьюдента для парных зависимых выборок выявлено, что площадь импланта, рассчитанная на основании прямых замеров в организме и на основании замеров по данным МСКТ, статистически значимо не отличается ($p = 0,763$) (табл. 3).

Таблица 3

Площадь импланта в эксперименте, см²

Table 3

"Titanium silk" mesh implant square in experiment, cm²

Площадь импланта / Implant square	M ± m	Me [25–75%]
Прямые замеры / Direct measurements	94,8 ± 2,2	95,2 [94,7–95,3]
По данным МСКТ / MSCT data	94,3 ± 1,78	94,2 [93,1–94,3]

Обсуждение

В нашей работе пациентам после проведения протезирующей паховой герниопластики были выполнены МСКТ-исследования органов брюшной полости на 3-е сутки и через 3 мес после операции, а далее осуществлено измерение площади сетчатого титанового эндопротеза «титановый шелк» с последующим сопоставлением значений.

Экспериментальным путем подтверждена достоверность размеров, получаемых врачом-рентге-

нологом на основании данных МСКТ. Выявлено, что значения площади импланта у подопытного животного, рассчитанные путем прямых замеров в организме и по данным МСКТ, статистически значимо не отличаются ($p = 0,763$).

Также определено, что с течением времени (3 мес) площадь титановых эндопротезов статистически достоверно уменьшается. Так, при открытой паховой герниопластике процент сморщивания протезов составил 4,4%, а при паховой лапароскопической герниопластике – 8,3%. Статистический анализ полученных данных показал, что процент сморщивания импланта через 3 мес после проведения хирургического лечения по данным МСКТ статистически значимо не отличается между группами. Таким образом, тип выполняемой протезирующей паховой герниопластики не влияет на процент сморщивания импланта.

При сопоставлении полученных результатов с данными литературы о сморщивании полипропиленовых имплантов определено, что титановый сетчатый эндопротез «титановый шелк» обладает менее выраженной тенденцией к уменьшению размеров относительно аналогичных нетитанизированных сетчатых протезов.

Заключение

Впервые получены данные о сморщивании протезов «титановый шелк» в организме через 3 мес после выполнения паховой герниопластики по данным МСКТ для двух видов операций: паховая герниопластика по Лихтенштейну, паховая лапароскопическая герниопластика. Показана эффективность МСКТ для контроля положения и оценки размеров сетчатого титанового эндопротеза у пациентов после проведения паховой герниопластики. Результаты исследования могут быть использованы для прогнозирования риска развития рецидива заболевания в хирургической практике.

Литература

- Burger JWA, Luijendijk RW, Hop WCJ, et al. Long-term follow-up of a randomized controlled trial of suture versus mesh repair of incisional hernia. *Ann Surg*. 2004; 240(4): 578–85. <https://doi.org/10.1097/01.sla.0000141193.08524.e7>.
- Каган И.И. Клиническая анатомия живота. Иллюстрированный авторский цикл лекций. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2021: 304.
- Всероссийская общественная организация «Общество герниологов». Национальные клинические рекомендации по герниологии. Паховые и послеоперационные грыжи. М.; 2018: 16–8.
- Седов В.М., Гостевской А.А., Тарбаев С.Д. и др. Сетчатые импланты из поливинилиденфторида в лечении грыж брюшной стенки. *Вестник хирургии им. И.И. Грекова*. 2008; 167(2): 16–21.
- Gavlin A, Kierans AS, Chen J, et al. Imaging and treatment of complications of abdominal and pelvic mesh repair. *Radiographics*. 2020; 40(2): 432–53. <https://doi.org/10.1148/rg.2020190106>.
- Паршиков В.В., Миронов А.А., Казанцев А.А., Алехин А.И. Спаечный процесс в брюшной полости после ненатяжной пластики ультралегкими синтетическими и титаносодержащими эндопротезами. *Современные технологии в медицине*. 2017; 9(3): 45–54. <https://doi.org/10.17691/stm2017.9.3.06>.
- Казанцев А.А., Туляков С.С., Алехин А.И. и др. Перспективы использования полифиламентного титанового шовного материала в травматологии. *РМЖ*. 2017; 25(8): 533–8.

8. Ходаков В.В., Забродин В.В., Забродин Е.В., Васева О.Н. Ближайшие и отдаленные результаты хирургического лечения паховых грыж с применением сетчатых титановых эндопротезов. Уральский медицинский журнал. 2018; 7: 93–101. <https://doi.org/10.25694/URMJ.2018.04.132>.
9. Holihan JL, Karanjawala B, Ko A, et al. Use of computed tomography in diagnosing ventral hernia recurrence: a blinded, prospective, multispecialty evaluation. *JAMA Surg.* 2016; 151(1): 7–13. <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2015.2580>.
10. Lee Gi-Hyung M, Cohen Allen J. CT imaging of abdominal hernias. *AJR Am J Roentgenol.* 1993; 161(6): 1209–13. <https://doi.org/10.2214/ajr.161.6.8249727>.
11. Rakic S, LeBlanc KA. The radiologic appearance of prosthetic materials used in hernia repair and a recommended classification. *AJR Am J Roentgenol.* 2013; 201(6): 1180–3. <https://doi.org/10.2214/AJR.13.10703>.

References

1. Burger JWA, Luijendijk RW, Hop WCJ, et al. Long-term follow-up of a randomized controlled trial of suture versus mesh repair of incisional hernia. *Ann Surg.* 2004; 240(4): 578–85. <https://doi.org/10.1097/01.sla.0000141193.08524.e7>.
2. Kagan II. Clinical anatomy of abdomen. Illustrated authors lecture cycle. Moscow: GEOTAR-Media; 2021: 304 (in Russ).
3. Russian public organization “Herniology society”. National clinical recommendations of hernias. Inguinal and ventral hernias. Moscow; 2018: 16–8 (in Russ).
4. Sedov VM, Gostevskoy AA, Tarbaev SD, et al. Mesh implants of polyvinylidene fluoride in treatment of abdominal wall hernias. *Grekov's Bulletin of Surgery.* 2008; 167(2): 16–21 (in Russ).
5. Gavlin A, Kierans AS, Chen J, et al. Imaging and treatment of complications of abdominal and pelvic mesh repair. *Radiographics.* 2020; 40(2): 432–53. <https://doi.org/10.1148/rg.2020190106>.
6. Parshikov VV, Mironov AA, Kazantsev AA, Alyokhin AI. Visceral adhesions after tension-free abdominal wall repair with ultralightweight synthetic and titanium-containing meshes. *Modern Technologies in Medicine.* 2017; 9(3): 45–54 (in Russ). <https://doi.org/10.17691/stm2017.9.3.06>.
7. Kazantsev AA, Tulyakov SS, Alekhin AI, et al. Prospects for the use of polyfilament titanium suture material Titanell in traumatology. *RMJ.* 2017; 25(8): 533–8 (in Russ).
8. Khodakov VV, Zabrodin VV, Zabrodin EV, Vasyova ON. Inguinal hernia alloplastyc using meshy titanium endoprotheses. *Ural Medical Journal.* 2018; 7: 93–101 (in Russ). <https://doi.org/10.25694/URMJ.2018.04.132>.
9. Holihan JL, Karanjawala B, Ko A, et al. Use of computed tomography in diagnosing ventral hernia recurrence: a blinded, prospective, multispecialty evaluation. *JAMA Surg.* 2016; 151(1): 7–13. <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2015.2580>.
10. Lee Gi-Hyung M, Cohen Allen J. CT imaging of abdominal hernias. *AJR Am J Roentgenol.* 1993; 161(6): 1209–13. <https://doi.org/10.2214/ajr.161.6.8249727>.
11. Rakic S, LeBlanc KA. The radiologic appearance of prosthetic materials used in hernia repair and a recommended classification. *AJR Am J Roentgenol.* 2013; 201(6): 1180–3. <https://doi.org/10.2214/AJR.13.10703>.