

МНОГОМЕРНОЕ ШКАЛИРОВАНИЕ В АНАЛИЗЕ ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ БЕСКУПОННОЙ ДОХОДНОСТИ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ЦЕННЫХ БУМАГ***Виктор Владимирович КУРЛЯНДСКИЙ^а,**
Антон Алексеевич ЗАЙЦЕВ^б^а кандидат технических наук, доцент кафедры финансов, налогообложения и финансового учета, Московский финансово-юридический университет МФЮА (МФЮА), Москва, Российская Федерация
kurlandsky@mail.ru
ORCID: отсутствует
SPIN-код: 5537-8230^б аспирант кафедры финансов, налогообложения и финансового учета, Московский финансово-юридический университет МФЮА (МФЮА), Москва, Российская Федерация
29383846@s.mfua.ru
ORCID: отсутствует
SPIN-код: отсутствует

* Ответственный автор

История статьи:Reg. № 737/2024
Получена 18.11.2024
Одобрена 26.12.2024
Доступна онлайн
27.02.2025**Специальность:** 5.2.4

УДК 336.763.3

JEL: G12, G17

Ключевые слова:многомерное
шкалирование,
временная структура,
процентная ставка,
бескупонная
доходность,
государственная
ценная бумага**Аннотация****Предмет.** Многомерное шкалирование как методологическое основание – во-первых, совершенствования общепринятой практики описания временной структуры процентных ставок для однородных финансовых инструментов (долговых ценных бумаг) с одинаковыми качественными характеристиками – алгоритма построения G-кривой, во-вторых – оценки финансовой целесообразности пересмотра временной структуры выпусков государственных облигаций.**Цели.** Доказательство финансовой целесообразности пересмотра временной структуры выпусков государственных облигаций.**Методология.** Используются статистические методы анализа данных, многомерное шкалирование, регрессионный анализ.**Результаты.** Использование статистических методов анализа данных и метода многомерного шкалирования позволило предложить новый алгоритм описания и визуализации временной структуры процентных ставок для однородных финансовых инструментов (долговых ценных бумаг) с одинаковыми качественными характеристиками. Применение регрессионного анализа для математического описания и интерпретации результатов применения нового алгоритма позволило предложить обоснование финансовой целесообразности пересмотра временной структуры выпусков государственных облигаций.**Выводы.** Сформулировано научно обоснованное предложение дополнить практику описания временной структуры процентных ставок для однородных финансовых инструментов (долговых ценных бумаг) с одинаковыми качественными характеристиками новацией: графическим представлением временной структуры процентных ставок в системе координат «математическое ожидание / среднеквадратическое отклонение процентных ставок»

* Авторы выражают благодарность и глубокую признательность генеральному директору УК «МЕТРОПОЛЬ» Александру Константиновичу ЗАХАРОВУ за советы и ценные замечания при работе над данной статьей.

с выводом координаты «время» в метки данных точек графиков. Продемонстрирован алгоритм реализации новации на примере исследования временной структуры бескупонной доходности государственных облигаций. Итогом исследования стало обоснование финансовой целесообразности пересмотра временной структуры выпусков государственных облигаций.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2024

Для цитирования: Курляндский В.В., Зайцев А.А. Многомерное шкалирование в анализе временной структуры бескупонной доходности государственных ценных бумаг // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2025. – Т. 18, № 1. – С. 21 – 29.
<https://doi.org/10.24891/fa.18.1.21>

Ежедневно Банк России публикует на своем официальном сайте таблицу «Значения кривой бескупонной доходности государственных облигаций» и график «Кривая бескупонной доходности государственных облигаций» в системе двух координат «Бескупонная доходность государственных облигаций, % годовых» и «Срок до погашения государственных облигаций, годы»¹. График «Кривая бескупонной доходности государственных облигаций» специалисты называют графиком G-кривой, считают одним из индикаторов состояния финансового рынка, базовым эталоном для оценки облигаций и иных финансовых инструментов, называют общепринятым способом описания временной структуры процентных ставок для однородных финансовых инструментов (долговых ценных бумаг) с одинаковыми качественными характеристиками, в том числе сходного кредитного качества². В то же время одна из концепций оценки инвестиционной привлекательности финансовых активов, за которую была присуждена Премия Шведского национального банка по экономическим наукам памяти Альфреда Нобеля, основана на представлении информации об активах в системе координат «Математическое ожидание доходности актива, % годовых» и «Среднеквадратическое отклонение доходности актива, % годовых» [1].

Чтобы поменять в двухмерной декартовой системе координат координаты «Бескупонная доходность государственных облигаций, % годовых» и «Срок до погашения государственных облигаций, годы» на координаты «Математическое ожидание доходности актива, % годовых» и «Среднеквадратическое отклонение доходности актива, % годовых», надо «куда-то деть» координату времени «Срок до погашения государственных облигаций, годы». Эту проблему решает методологический подход к визуализации данных, называемый «Многомерное шкалирование» [2–7].

Если научиться наглядно и понятно даже для финансово неискушенного человека графически представлять кривую бескупонной доходности государственных облигаций в трехмерной декартовой системе координат «Математическое ожидание доходности облигаций, % годовых», «Среднеквадратическое отклонение доходности облигаций, % годовых», «Срок до погашения государственных облигаций, годы», может появиться не только новый исследовательский инструмент, но и новый предмет исследования. Одному из решений этой задачи и посвящена статья.

¹ Кривая бескупонной доходности государственных облигаций. URL: www.cbr.ru/hd_base/zcyc_params/zcyc/

² Кривая бескупонной доходности. URL: www.moex.com/a3642

В табл. 1 и на рис. 1, фрагментарно воспроизводящих информацию, публикуемую Банком России, видна разница в цифрах и расположении графиков 21.10.2024 и 01.10.2024. Перенеся с сайта Банка России в таблицу строчки, описывающие бескупонную доходность государственных облигаций в каждый из рабочих дней октября 2024 г. (временной интервал выбран произвольно), мы получили возможность подсчитать с помощью программы для работы с электронными таблицами Microsoft Excel «Математическое ожидание» и «Среднеквадратическое отклонение» всех чисел каждого столбца, то есть, каждого срока до погашения государственных облигаций (табл. 2).

С момента расчета математического ожидания и среднеквадратического отклонения исследуемой случайной величины все внимание было сосредоточено на цифрах, представленных на рис. 2. С использованием информации, представленной на рис. 2, построен рис. 3. Координаты времени точек графика на рис. 3 (цифры строчки «Срок до погашения государственных облигаций, лет» на рис. 2) представлены в метках данных точек. Это прием визуализации информации – основополагающий в многомерном шкалировании. Чтобы не загромождать рис. 3 информацией, меток данных точек, соответствующих 7, 10, 15 и 20 годам, нет. Просто взглянув на рис. 3, сразу можно утверждать, что по мере продвижения во времени к 30 годам уменьшаются и математическое ожидание, и среднеквадратическое отклонение бескупонной доходности государственных ценных бумаг, что означает снижение доходности и риска инвестирования. На графике построена линия тренда, проходящая с высокой точностью через 7 из 12 точек и касающаяся еще 2–3 точек. Уравнение линии тренда содержит 6 коэффициентов аргументов X , имеющих степени от 1 до 6, и одно свободное слагаемое – в сумме 7 переменных, которые и позволили линии тренда пройти через 7 точек. Математически задача проведения линии тренда через все 12 точек решается за счет усложнения уравнения линии. Но можно выработать другую реакцию на полученную «от линии тренда» информацию. Точка «20 лет» оказалась бы на линии тренда, если бы была точкой на год старше – 21 год. Точке «2 года» не хватило доли (примерно четверти) года. Можно предложить, увы, отказаться от точек «0,25 года», «0,75 года», «1 год». Если вернуться в реальность, все эти рассуждения означают, что создан инструмент для инициации и исследования предложений, для поиска аргументов для доказательства или опровержения финансовой целесообразности пересмотра временной структуры выпусков государственных облигаций.

Таблица 1

Значения кривой бескупонной доходности государственных облигаций, % годовых

Table 1

Values of the zero coupon yield curve of government bonds, percent per annum

Дата	Срок до погашения государственных облигаций, лет											
	0,25	0,5	0,75	1	2	3	5	7	10	15	20	30
<i>Бескупонная доходность государственных облигаций, % годовых</i>												
21.10.2024	19,26	19,46	19,59	19,67	19,61	19,2	18,10	17,15	16,20	15,37	14,93	14,48
01.10.2024	19,64	19,66	19,63	19,58	19,14	18,57	17,49	16,67	15,87	15,18	14,83	14,48

Источник: авторская разработка по данным банка России

Source: Authoring, based on the Bank of Russia data

Таблица 2**Динамика бескупонной доходности государственных облигаций, % годовых****Table 2****Dynamics of zero coupon government bond yield, percent per annum**

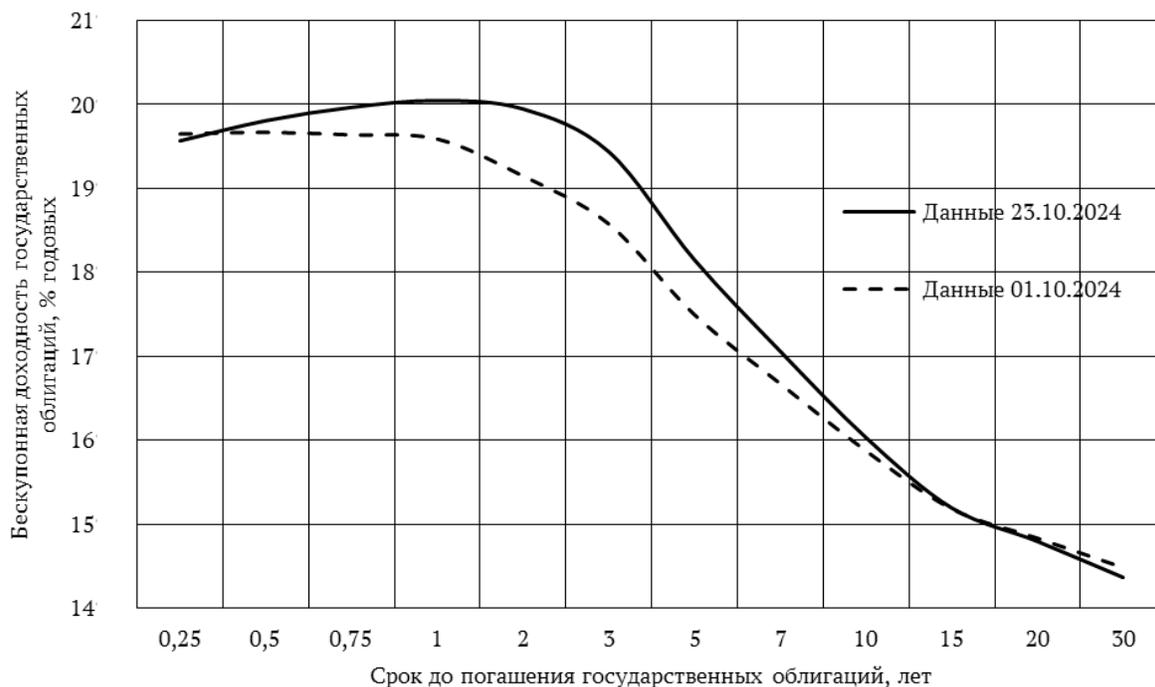
Дата	Срок до погашения государственных облигаций, лет											
	0,25	0,5	0,75	1	2	3	5	7	10	15	20	30
<i>Бескупонная доходность государственных облигаций, % годовых</i>												
31.10.24	21,72	21,81	21,85	21,83	21,39	20,71	19,26	18,08	16,89	15,83	15,28	14,7
30.10.24	20,54	20,73	20,84	20,9	20,72	20,19	18,91	17,81	16,68	15,68	15,15	14,55
29.10.24	20,53	20,75	20,9	20,98	20,84	20,31	19,01	17,9	16,77	15,76	15,23	14,68
28.10.24	20,57	20,8	20,95	21,02	20,88	20,37	19,04	17,89	16,71	15,71	15,2	14,67
25.10.24	20,53	20,77	20,92	20,98	20,75	20,14	18,71	17,55	16,42	15,46	14,99	14,5
24.10.24	19,7	19,98	20,16	20,27	20,17	19,66	18,34	17,24	16,17	15,28	14,83	14,37
23.10.24	19,57	19,81	19,97	20,05	19,95	19,44	18,15	17,06	16,03	15,19	14,79	14,36
22.10.24	19,74	19,94	20,06	20,13	19,97	19,45	18,18	17,12	16,11	15,28	14,88	14,46
21.10.24	19,26	19,46	19,59	19,67	19,61	19,2	18,1	17,15	16,2	15,37	14,93	14,48
18.10.24	19,04	19,24	19,39	19,48	19,47	19,09	18,05	17,14	16,25	15,47	15,07	14,66
17.10.24	18,89	19,1	19,24	19,34	19,37	19,04	18,08	17,21	16,3	15,48	15,06	14,64
16.10.24	18,96	19,14	19,28	19,36	19,36	19,02	18,02	17,14	16,24	15,41	14,98	14,55
15.10.24	19,14	19,31	19,42	19,48	19,41	19,04	18,05	17,17	16,24	15,39	14,94	14,47
14.10.24	19,16	19,31	19,41	19,47	19,38	19	18,01	17,14	16,2	15,3	14,81	14,32
11.10.24	19,17	19,31	19,4	19,44	19,34	18,96	18	17,14	16,23	15,35	14,9	14,46
10.10.24	19,31	19,44	19,52	19,56	19,44	19,05	18,08	17,22	16,3	15,44	15	14,58
09.10.24	19,44	19,58	19,66	19,7	19,55	19,13	18,12	17,27	16,39	15,56	15,12	14,69
08.10.24	19,34	19,48	19,57	19,61	19,48	19,07	18,08	17,24	16,37	15,55	15,12	14,69
07.10.24	19,37	19,83	19,89	19,89	19,63	19,13	18,02	17,15	16,31	15,58	15,2	14,8
04.10.24	19,75	19,82	19,84	19,82	19,47	18,92	17,8	16,94	16,13	15,44	15,09	14,74
03.10.24	19,76	19,77	19,76	19,71	19,33	18,81	17,78	16,98	16,18	15,45	15,07	14,68
02.10.24	19,5	19,52	19,51	19,47	19,12	18,62	17,6	16,8	16,02	15,32	14,93	14,52
01.10.24	19,64	19,66	19,63	19,58	19,14	18,57	17,49	16,67	15,87	15,18	14,83	14,48
<i>Математическое ожидание, % годовых</i>												
-	19,68	19,85	19,95	19,99	19,82	19,34	18,21	17,26	16,3	15,46	15,02	14,57
<i>Среднеквадратическое отклонение, % годовых</i>												
-	0,66	0,67	0,67	0,67	0,64	0,58	0,45	0,35	0,24	0,17	0,14	0,13

Источник: авторская разработка по данным банка России

Source: Authoring, based on the Bank of Russia data

Рисунок 1
Кривая бескупонной доходности государственных облигаций

Figure 1
Zero coupon yield curve for government bonds



Источник: авторская разработка по данным банка России

Source: Authoring, based on the Bank of Russia data

Рисунок 2
Координаты трех измерений бескупонной доходности государственных облигаций

Figure 2
Coordinates of three dimensions of zero coupon government bond yield

Срок до погашения государственных облигаций, лет											
0,25	0,5	0,75	1	2	3	5	7	10	15	20	30
Математическое ожидание, % годовых											
19,68	19,85	19,95	19,99	19,82	19,34	18,21	17,26	16,30	15,46	15,02	14,57
Среднеквадратическое отклонение, % годовых											
0,66	0,67	0,67	0,67	0,64	0,58	0,45	0,35	0,24	0,17	0,14	0,13

Источник: авторская разработка

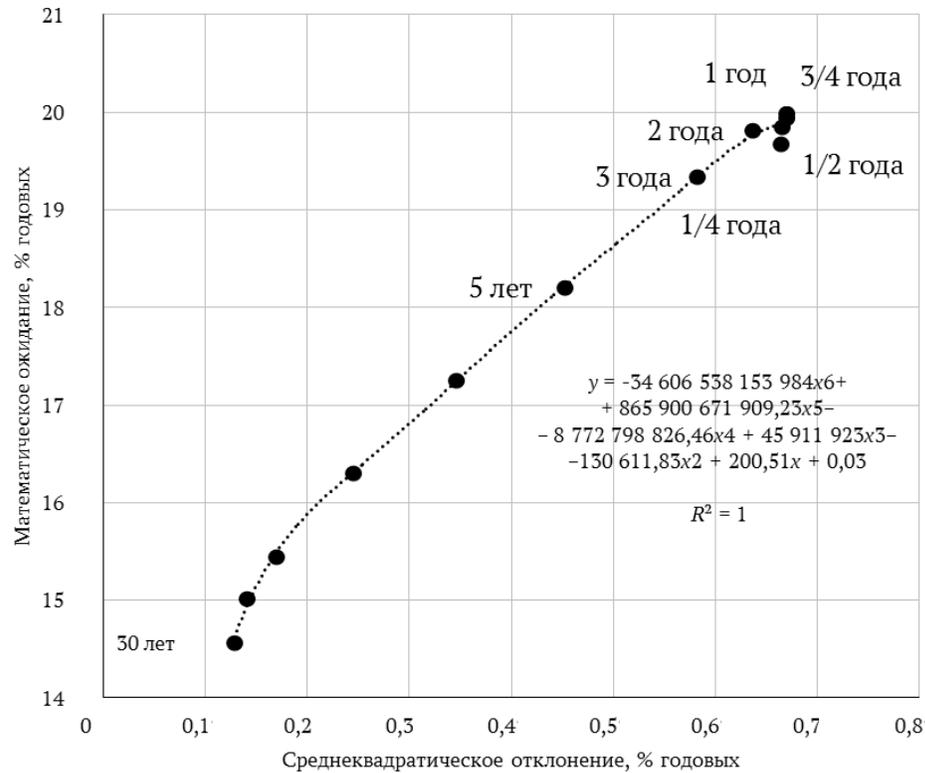
Source: Authoring

Рисунок 3

Двухмерная иллюстрация трехмерной динамики бескупонной доходности государственных облигаций

Figure 3

Two-dimensional illustration of the three-dimensional dynamics of zero coupon government bond yield



Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Список литературы

1. Markowitz H.M. Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, 1952, vol. 7, no. 1, pp. 77–91. URL: <https://doi.org/10.2307/2975974>
2. Dzemyda G., Kurasova O., Medvedev V., Dzemydaitė G. Visualization of Data: Methods, Software, and Applications. In: Singh V.K., Gao D., Fischer A. (eds) *Advances in Mathematical Methods and High Performance Computing*. Springer, Cham, 2019, pp. 295–307. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-02487-1_18
3. Buja A., Swayne D.F., Littman M.L. et al. Data visualization with multidimensional scaling. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 2008, vol. 17, iss. 2, pp. 444–472. URL: <https://doi.org/10.1198/106186008X318440>
4. Urpa L.M., Anders S. Focused multidimensional scaling: interactive visualization for exploration of high-dimensional data. *BMC Bioinformatics*, 2019, vol. 20, no. 221. URL: <https://doi.org/10.1186/s12859-019-2780-y>

5. Yuh Kobayashi, Hideki Takayasu, Shlomo Havlin, Misako Takayasu. Robust Characterization of Multidimensional Scaling Relations between Size Measures for Business Firms. *Entropy*, 2021, vol. 23, iss. 2.
URL: <https://doi.org/10.3390/e23020168>
6. Hout M.C., Papesh M.H., Goldinger S. Multidimensional Scaling. *WIREs Cognitive Science*, 2013, vol. 4, iss. 1, pp. 93–103. URL: <https://doi.org/10.1002/wcs.1203>
7. Meyer E.M., Reynolds M.R. Multidimensional Scaling of Cognitive Ability and Academic Achievement Scores. *Journal of Intelligence*, 2022, vol. 10, no. 4.
URL: <https://doi.org/10.3390/jintelligence10040117>

Информация о конфликте интересов

Мы, авторы данной статьи, со всей ответственностью заявляем о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

MULTIDIMENSIONAL SCALING IN THE ANALYSIS OF THE TIME STRUCTURE OF ZERO-COUPON YIELD OF GOVERNMENT SECURITIES

Viktor V. KURLYANDSKII ^{a*},
Anton A. ZAITSEV ^b

^a Moscow University of Finance and Law MFUA (MFUA),
Moscow, Russian Federation
kurlandsky@mail.ru
ORCID: not available

^b Moscow University of Finance and Law MFUA (MFUA),
Moscow, Russian Federation
29383846@s.mfua.ru
ORCID: not available

* Corresponding author

Article history:

Article No. 737/2024
Received 18 Nov 2024
Accepted 26 Dec 2024
Available online
27 Feb 2025

JEL Classification:

G12, G17

Keywords:

multidimensional
scaling, time structure,
interest rate, zero
coupon yield,
government security

Abstract

Subject. This article deals with the multidimensional scaling as a methodological basis for improving the generally accepted practice of describing the time structure of interest rates for homogeneous financial instruments with the same qualitative characteristics, and for assessing the financial feasibility of revising the time structure of government bond issues.

Objectives. The article aims to prove the financial feasibility of revising the time structure of government bond issues.

Methods. For the study, we used statistical methods of data analysis, multidimensional scaling, and regression analysis.

Results. The use of statistical methods of data analysis and the method of multidimensional scaling makes it possible to propose a new algorithm for describing and visualizing the time structure of interest rates for homogeneous financial instruments (debt securities) with the same qualitative characteristics. The use of regression analysis for the mathematical description and interpretation of the results of the new algorithm makes it possible to propose a justification for the financial feasibility of revising the time structure of government bond issues.

Conclusions. The article concludes of the financial feasibility of revising the time structure of government bond issues.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2024

Please cite this article as: Kurllyandskii V.V., Zaitsev A.A. Multidimensional scaling in the analysis of the time structure of zero-coupon yield of government securities. *Financial Analytics: Science and Experience*, 2025, vol. 18, iss. 1, pp. 21–29.
<https://doi.org/10.24891/fa.18.1.21>

Acknowledgments

We are profoundly grateful to Aleksandr K. ZAKHAROV, General Director of the METROPOL Management Company, for his advice and valuable comments while working on this article.

References

1. Markowitz H.M. Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, 1952, vol. 7, no. 1, pp. 77–91. URL: <https://doi.org/10.2307/2975974>
2. Dzemyda G., Kurasova O., Medvedev V., Dzemydaitė G. Visualization of Data: Methods, Software, and Applications. In: Singh V.K., Gao D., Fischer A. (eds) *Advances in Mathematical Methods and High Performance Computing*. Springer, Cham, 2019, pp. 295–307. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-02487-1_18
3. Buja A., Swayne D.F., Littman M.L. et al. Data visualization with multidimensional scaling. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 2008, vol. 17, iss. 2, pp. 444–472. URL: <https://doi.org/10.1198/106186008X318440>
4. Urpa L.M., Anders S. Focused multidimensional scaling: interactive visualization for exploration of high-dimensional data. *BMC Bioinformatics*, 2019, vol. 20, no. 221. URL: <https://doi.org/10.1186/s12859-019-2780-y>
5. Yuh Kobayashi, Hideki Takayasu, Shlomo Havlin, Misako Takayasu. Robust Characterization of Multidimensional Scaling Relations between Size Measures for Business Firms. *Entropy*, 2021, vol. 23, iss. 2. URL: <https://doi.org/10.3390/e23020168>
6. Hout M.C., Papesh M.H., Goldinger S. Multidimensional Scaling. *WIREs Cognitive Science*, 2013, vol. 4, iss. 1, pp. 93–103. URL: <https://doi.org/10.1002/wcs.1203>
7. Meyer E.M., Reynolds M.R. Multidimensional Scaling of Cognitive Ability and Academic Achievement Scores. *Journal of Intelligence*, 2022, vol. 10, no. 4. URL: <https://doi.org/10.3390/jintelligence10040117>

Conflict-of-interest notification

We, the authors of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.