



Обзор литературы
УДК 616.71-007.234-073.75: 611.018.4
<http://dx.doi.org/10.35177/1994-5191-2024-3-23>

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕКСТУРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ СТРУКТУРЫ КОСТНОЙ ТКАНИ

Кирилл Максимович Вельма^{1✉}, Юлия Викторовна Довгялло², Елена Антоновна Калашникова³,
Евгения Александровна Горбачева⁴

^{1✉}Донецкий государственный медицинский университет имени М. Горького, Донецк, Россия,
kirill.velma@bk.ru

^{2,3,4}Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия

²dovgiallo1@mail.ru

⁴evgeniagorbachiova999@gmail.com

Аннотация. В работе изучены фундаментальные и прикладные медицинские исследования, посвященные возможностям применения метода текстурного анализа – метода оценки количественных характеристик неоднородности изображений, полученных посредством лучевых методов диагностики – для оценки морфологических структур. Рассмотрены физические основы метода, описаны основные, наиболее распространенные на сегодняшний день текстурные характеристики, систематизированы сведения об использовании метода в оценке почечной паренхимы, зубов, наибольший акцент сделан на перспективах применения текстурного анализа в контексте ранней доклинической диагностики остеопоротических изменений костной ткани. Учитывая все изученные данные, можно говорить, что при наличии убедительных данных в пользу того или иного набора конкретных текстурных признаков текстурный анализ может стать методом прецизионного подхода к неинвазивной верификации структурных изменений костной ткани у больных остеопорозом на ранних доклинических стадиях.

Ключевые слова: текстурный анализ, остеопороз, остеопения, текстура, преобразование Фурье, лучевая диагностика

Для цитирования: Перспективы применения текстурного анализа для оценки структуры костной ткани / К.М. Вельма, Ю.В. Довгялло, Е.А. Калашникова и др. // Дальневосточный медицинский журнал. – 2024. – № 3. – С. 141-145. <http://dx.doi.org/10.35177/1994-5191-2024-3-23>.

PROSPECTS FOR THE USE OF TEXTURAL ANALYSIS TO ASSESS THE STRUCTURE OF BONE TISSUE

Kirill M. Vel'ma^{1✉}, Yuliya V. Dovgyallo², Elena A. Kalashnikova³, Evgeniya A. Gorbacheva⁴

^{1✉}Donetsk State Medical University named after M. Gorky, Donetsk, Russia, kirill.velma@bk.ru

^{2,3,4}Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia

²dovgiallo1@mail.ru

⁴evgeniagorbachiova999@gmail.com

Abstract. The paper examines fundamental and applied medical research on the possibilities of using the method of texture analysis – a method for evaluating the quantitative characteristics of the heterogeneity of images obtained by radiation diagnostic methods – to assess morphological structures. The physical foundations of the method are considered, the main textural characteristics that are most common today are described, information about the use of the method in the assessment of renal parenchyma and teeth is systematized, the greatest emphasis is placed on the prospects of using textural analysis in the context of early preclinical diagnosis of osteoporotic bone changes. Taking into account all the data studied, it can be assumed that if there is convincing evidence in favor of a particular set of specific textural features, textural analysis can become a method of precision approach to noninvasive verification of structural changes in bone tissue in patients with osteoporosis at early preclinical stages.

Keywords: textural analysis, osteoporosis, osteopenia, texture, Fourier transform, radiation diagnostics

For citation: Prospects for the use of textural analysis to assess the structure of bone tissue / K.M. Vel'ma, Yu.V. Dovgyallo, E.A. Kalashnikova, et al. // Far Eastern medical journal. – 2024. – № 3. – P. 141-145. <http://dx.doi.org/10.35177/1994-5191-2024-3-23>.



Проблема первичного и вторичного остеопороза, согласно сведениям Всемирной организации здравоохранения, сегодня является одной из самых распространенных причин смертности и инвалидизации работоспособного населения по всему миру после онкологических, сердечно-сосудистых заболеваний и сахарного диабета [1-5]. У данной патологии нет излюбленного пола или возраста, проявляется первично или вторично относительно медикаментозного лечения и имеющихся системных заболеваний. Согласно некоторым отечественным источникам [7], в России среди контингента старше 50 лет остеопороз встречается примерно у трети мужчин (27 %) и женщин (34 %), с возрастом частота остеопоротических поражений растет. Другие авторы [6] утверждают, что среди метаболических заболеваний костной ткани данная патология наиболее распространена, а также не распознается у многих пожилых людей. Вероятно, вопросы низкого выявления остеопороза могут быть связаны с возможностями диагностики, особенно с обращениями в медицинские учреждения, различной стадийностью процесса и другими аспектами общественного здоровья и здравоохранения. Вместе со своей высокой распространенностью данное состояние не является только лишь медицинской проблемой, но и обладает высоким социальным значением: остеопоротические переломы тел позвонков и костей периферического скелета обуславливают большие материальные расходы в сфере здравоохранения и высокий уровень нетрудоспособности взрослого

населения [7-9]. В целом, говоря о наиболее актуальных проблемах современной медицинской науки, большое внимание сегодня уделяется именно медико-социальным проблемам, имеющим большую общественную значимость.

Обобщая все вышеизложенное, высокая частота остеопороза, ее постоянный рост и высокая социальная важность обуславливают большое значение данной проблемы для системы здравоохранения, государства и общества в целом. Данный факт находит отражение в многочисленных работах отечественных и зарубежных авторов. При этом приоритетным является вопрос его профилактики и ранней доклинической диагностики, в том числе с использованием лучевых методов исследования в комплексе с наиболее прогрессивными и инновационными методиками (например, текстурным анализом), позволяющими охарактеризовать существующие изменения костной ткани количественно (а значит, объективно), в наиболее возможной мере минимизировать степень расходов временных и материальных ресурсов. Имеющаяся на сегодняшний день информация по данной проблеме достаточно разрозненна и требует систематизации и обобщения, что обуславливает актуальность настоящей работы.

Таким образом, целью настоящей работы явилось изучение и систематизация имеющихся сведений литературы по вопросу возможностей и перспектив применения текстурного анализа для оценки структуры костной ткани.

Материалы и методы

В ходе работы в соответствии с целью были изучены и систематизированы материалы отечественной и зарубежной литературы, проанализированы

возможности применения текстурного анализа для оценки структуры костной ткани.

Результаты и обсуждение

Текстурный анализ, согласно определению Davnall F., et al., является методом оценки количественных характеристик неоднородности изображений, полученных посредством лучевых методов диагностики (ультразвукового исследования, МСКТ, МРТ, ПЭТ/КТ) [10]. Важно отметить, что достаточно значимым методом получения информации о трехмерной структуре костной ткани, которая может быть использована для оценки текстурных характеристик, несмотря на относительно невысокое свое диагностическое значение в выявлении изменений в субхондральных костях и суставных щелях, является стандартная рентгенография [10-13].

Говоря об истории изучения текстурных характеристик, следует сказать, что физические основы текстурного анализа были впервые изложены еще в конце прошлого столетия [14]. В соответствии с классическим описанием, текстура каждого изображения физиологически воспринимается органом зрения в качестве сложного узора, составленного из организованных в пространстве повторяющихся картин, имеющих характерный однородный внешний вид. При этом так называемые «мономеры» сложного

изображения характеризуются определенными признаками: яркостью, размером, шероховатостью, направленностью, случайностью, гладкостью. Текстура изображения может стать источником важной информации о пространственной структуре физических объектов (в том числе – элементов костной ткани), а значит, анализ текстурных картин является значимым аспектом обработки и понимания полученного изображения. Для анализа текстуры изображения используются методики интеллектуальной оценки данных посредством компьютерных программ с применением статистики (1-го, 2-го и высших порядков) и моделей (создание модели, характерной для определенного изображения) [15]. К извлекаемой статистике 1-го порядка относятся гистограммные показатели, которые описывают общее распределение элементов (пикселей/вокселей) в интересующей области: средняя интенсивность показывает среднее значение уровней серого в интересующей области; стандартное отклонение – величину, описывающую колебания уровня серого; энтропия – случайность в значениях уровня серого; коэффициенты эксцесса – меру остроты кривой распределения уровня серого; асимметрия – меру



скошенности кривой распределения уровня серого. В отличие от них, показатели статистики 2-го порядка являются матричными, т. е. количественно описывают конкретные функции, встречающиеся в пределах заданной матрицы: показатели совместной встречаемости уровней серого – количество совместно встреченных пикселей/вокселей одного уровня серого и на одинаковом расстоянии под одинаковым углом; показатели длины пробега уровня серого – количество пробегов одинаковой длины и уровня серого в интересующей области вдоль определенного угла.

При таком подходе любое изображение должно быть рассмотрено как система функций, описывающих существенные характеристики изображения, что отражается на возможностях применять спектральные подходы для комплексного анализа изображений, например, на основе преобразования Фурье [16]. Преобразование Фурье находит применение в широком спектре научных областей: от физики и теории чисел до акустики, оптики и геометрии. Применительно к анализу изображений, что может быть использовано в диагностике различных патологий по данным визуализирующих методов исследования, данная операция может быть полезна для определения периодических структур [17].

Ряд авторов показали возможности оценки спектральных свойств медицинских изображений путем применения стандартного алгоритма быстрого преобразования Фурье, причем результаты таких исследований позволяют говорить об анализе изображений на основе преобразования Фурье как о достаточно надежном подходе автоматической классификации [18].

Вместе с тем Кабалык М.А. по указанному алгоритму строил график функции, по которому оценивал значение экстремума спектра Фурье для оценки спектральных свойств изображения субхондральной кости. В результате автору удалось выявить и оценить силу корреляционных связей между указанной переменной и стадией остеоартроза, наличием больших остеофитов [19]. Это убедительно показывает, что экстремум спектра Фурье снижается по мере прогрессирования остеоартроза, склерозирования и уплотнения кости. При таких имеющихся результатах совершенно интересным представляется вопрос исследования экстремума спектра Фурье при обратном процессе – снижении минеральной плотности костной ткани. Возможно, в таком случае будет иметь место статистически значимое увеличение экстремума Фурье при снижении плотности кости.

Метод текстурного анализа применяли и для автоматизированной диагностики остеопоротических изменений по данным рентгенографии шейки бедра. При этом к достоинствам методы авторы относят низкую стоимость, высокую скорость постановки диагноза, доступность оборудования, универсальность, учёт трабекулярной структуры костной ткани [20].

Гусева И.Е. и соавторы в первой трети прошлого десятилетия изучали возможности применения преобразования Фурье для гистоморфометрической оценки организации костной ткани и твердых тканей зуба.

В ходе исследования изображений различных типов с помощью указанного показателя были подтверждены результаты качественной морфологической оценки этих же изображений. Немаловажным фактом стало получение количественных, а значит, объективных данных при отсутствии использования дорогостоящих узкоспециализированных лицензионных пакетов или скрупулезных ручных измерений [21].

В ходе ряда исследований некоторым автором удалось убедительно продемонстрировать возможности применения текстурного анализа для дифференциальной диагностики доброкачественных и злокачественных новообразований паренхимы почек [22]. Так, часть работ посвящена созданию прогностических моделей и алгоритмов, созданных на основе глубокого машинного обучения с использованием различных наборов и комбинаций текстурных признаков. При этом разные работы показали достаточную эффективность изучаемого подхода для неинвазивного определения природы опухоли [23-24]. Схожий, но несколько отличающийся подход использовали в своем исследовании F.Y. Yar и соавт., которые оценивали текстуру почечной паренхимы на основании 3D-построений, выполненных в специализированной программе с созданием 3 видов моделей, наиболее успешной из которых оказалась модель с использованием данных текстуры и формы образований [25]. Указанные работы позволяют задуматься о возможности применения текстурного анализа для оценки структуры костной ткани не только лишь в контексте остеопоротических изменений, но и онкологических заболеваний.

Обращаясь к другим текстурным признакам, стоит отметить попытки описания некоторых отдельных групп признаков зарубежными исследователями. Так, например, для описания трабекулярной структуры костной ткани зарубежные авторы использовали маски Лоу [26], признаки Харалика [27-28], спектральные характеристики [29], вейвлет-анализ [30]. При этом стоит отметить, что в доступной литературе отсутствуют данные о сравнении указанных признаков и об отборе наиболее удачных из них в контексте автоматической диагностики. Также не исследованы некоторые другие текстурные показатели, например, признаки Тамуры [31], признаки Габора [32].

Немаловажным для внедрения текстурного анализа в практику является наличие специализированных компьютерных программ для его проведения, как коммерческих, так и с открытым доступом. Однако отсутствует единая методика и регламентированный набор наиболее оптимальных характеристик, позволяющих объективно оценить структуру той или иной ткани. Указанные факты вместе с отсутствием эталонов нормы текстурных показателей сдерживают применение данного перспективного метода в практическом здравоохранении.

Все вышесказанное нацеливает отечественных и зарубежных ученых на выработку методики текстурного анализа и выявление эталонов нормы, которые позволили бы максимально эффективно, с минимальными затратами времени и других ресурсов



диагностировать патологические изменения плотности костной ткани. Несомненно, этот вопрос носит практический характер и не может быть решен только лишь в условиях проведения литературного обзора, что открывает перспективы для ученых и диктует необходимость проведения оригинального исследования для решения озвученной проблемы.

Таким образом, текстурный анализ при наличии убедительных данных в пользу того или иного набора конкретных текстурных признаков может явиться методом прецизионного подхода к неинвазивной верификации структурных изменений костной ткани у больных остеопорозом на ранних доклинических стадиях.

Список источников

1. Лудан В. В., Польская Л. В. Профилактика остеопороза // Таврический медико-биологический вестник. – 2020. – Т. 23, № 4. – С. 98-104.
Ludan V.V., Polskaya L.V. Prevention of osteoporosis // Tavrichesky Medico-Biological Bulletin. – 2020. – Vol. 23, № 4. – P. 98-104.
2. Дедов И. И., Мельниченко Г. А., Белая Ж. Е., Рожинская Л. Я.: Остеопороз – от редкого симптома эндокринных болезней до безмолвной эпидемии 20-21 века // Проблемы Эндокринологии. – Москва. – 2011. – Т. 57, № 4. – С. 35-45.
Dedov I.I., Melnichenko G.A., Belaya Zh.E., Rozhinskaya L.Ya. Osteoporosis – from a rare symptom of endocrine diseases to a silent epidemic of the 20th-21st century // Problems of Endocrinology. – M., 2011. – Vol. 57, № 4. – P. 35-45.
3. Новикова В. А., Аутлева Ф. Р., Хосева Е. Н. Современные возможности лечения и профилактики остеопороза у женщин в постменопаузе // Гинекология. – М., 2012. – № 1 (14). – С. 4-7.
Novikova V.A., Autleva F.R., Khoseva E.N. Modern possibilities of treatment and prevention of osteoporosis in postmenopausal women // Gynecology. – M., 2012. – № 1 (14). – P. 4-7.
4. Рекомендации рабочей группы ВОЗ по обследованию и лечению больных с остеопорозом. Остеопороз и остеопатии // Медицинский научно-практический журнал. – М., 2016. – № 4. – С. 2-7.
Recommendations of the WHO working group on examination and treatment of patients with osteoporosis. Osteoporosis and osteopathies // Medical Scientific and Practical Journal. – M., 2016. – № 4. – P. 2-7.
5. Михайлов Е.Е., Беневоленская Л.И. Руководство по остеопорозу. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003.
Mikhaylov E.E., Benevolenskaya L.I. Guide for osteoporosis. – M.: BINOM. Laboratory Knowledge, 2003.
6. Shayganfar A., Khodayi M., Ebrahimi S., Tabrizi Z. Quantitative diagnosis of osteoporosis using lumbar spine signal intensity in magnetic resonance imaging // The British Journal of Radiology. – 2019. – Vol. 92 (1097).
7. Белая Ж.Е. и др. Федеральные клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике остеопороза // Остеопороз и остеопатии. – 2021. – Т. 24, № 2. – С. 4-47.
Belaya Zh.E., et al. Federal clinical guidelines for the diagnosis, treatment and prevention of osteoporosis // Osteoporosis and Osteopathy. – 2021. – Vol. 24, № 2. – P. 4-47.
8. Лесняк О.М. Аудит состояния проблемы остеопороза в странах Восточной Европы и Центральной Азии 2010 // Остеопороз и остеопатии. – 2011. – № 2.
Lesnyak O.M. Audit of the state of the osteoporosis problem in the countries of Eastern Europe and Central Asia 2010 // Osteoporosis and Osteopathy. – 2011. – № 2.
9. Лесняк О.М., Лебедев А.К., Галстян Р., Гроппа Л.Г., Десятникова Е.В., Елисева Л.Н., Епанов В.В., Козак В.И., Оттева Э.Н., Резникова Л.Б., Романов Г., Саакян С., Тихомирова Н.Ю., Тома К.Ф. Эпидемиология переломов проксимального отдела бедренной кости в странах региона по результатам многоцентрового эпидемиологического исследования Эва // Остеопороз и остеопатии. – 2016. – № 2.
Lesnyak O.M., Lebedev A.K., Galstyan R., Groppa L.G., Desyatnikova E.V., Eliseeva L.N., Epanov V.V., Kozak V.I., Otteva E.N., Reznikova L.B., Romanov G., Saakyan S., Tikhomirova N.Yu., Toma K.F. Epidemiology of proximal femur fractures in the countries of the region based on the results of the multicenter epidemiological study Eva // Osteoporosis and Osteopathy. – 2016. – № 2.
10. Davnall F., Yip C.S.P., Ljungqvist G., et al. Assessment of tumor heterogeneity: an emerging imaging tool for clinical practice? // Insights Imaging. – 2012. – № 3 (6). – С. 573-89.
11. Кабалык М.А. Фрактальные и текстурные характеристики изображений субхондральной кости при остеоартрозе // Успехи современной науки. – 2016. – № 3. – С. 66-72.
Kabalyk M.A. Fractal and textural characteristics of subchondral bone images in osteoarthritis // Advances in Modern Science. – 2016. – № 3. – P. 66-72.
12. Hunter D.J., Zhang Y.Q., Tu X., et al. Change in joint space width: hyaline articular cartilage loss or alteration in meniscus? // Arthritis Rheum. – 2006. – Vol. 54, № 8. – P. 2488-2495.
13. Papaloucas C.D., Ward R.J., Tonkin C.J., Buckland-Wright C. Cancellous bone changes in hip osteoarthritis: a short-term longitudinal study using fractal signature analysis // Osteoarthritis Cartilage. – 2005. – Vol. 13, № 11. – P. 998-1003.
14. Haralick R.M., Shanmugam K., Dinstein I. Textural features for image classification // IEEE transactions on systems, man, and cybernetics. – 1973. – № 3 (6). – P. 610-21.



16. Гордуладзе Д.Н., Сирота Е.С., Рапопорт Л.М., Гридин В.Н., Цариченко Д.Г., Кузнецов И.А., Бочкарев П.В., Аляев Ю.Г. Возможности текстурного анализа лучевых методов визуализации в диагностике образований паренхимы почки // Онкоурология. – 2021. – № 4.
Gorduladze D.N., Sirota E.S., Rapoport L.M., Gridin V.N., Tsarichenko D.G., Kuznetsov I.A., Bochkarev P.V., Alyaev Yu.G. Possibilities of texture analysis of radiation visualization methods in the diagnosis of renal parenchyma formations // Oncourology. – 2021. – № 4.
17. Rautiainen J., Lehto L.J., Tiitu V., et al. Osteochondral repair: evaluation with sweep imaging with fourier transform in an equine model // Radiology. – 2013. – Vol. 269, № 1. – P. 113-121.
18. Грузман И. С., Киричук В. С., Косых В. П., Перетягин Г. И., Спектор А. А. Цифровая обработка изображений в информационных системах: учебное пособие. – Новосибирск: НГТУ, 2002. – 352 с.
Gruzman I.S., Kirichuk V.S., Kosykh V.P., Peretyagin G.I., Spektor A.A. Digital image processing in information systems: study guide. – Novosibirsk: NSTU, 2002. – 352 p.
19. Томакова Р.А., Филист С.А., Горбатенко С.А. и др. Анализ гистологических изображений посредством морфологических операторов, синтезированных на основе преобразования Фурье и нейросетевого моделирования // Биотехносфера. – 2010. – Т. 3, № 9. – С. 54-60.
Tomakova R.A., Filist S.A., Gorbatenko S.A. et al. Analysis of histological images using morphological operators synthesized on the basis of the Fourier transform and neural network modeling // Biotekhnosfera. – 2010. – Vol. 3, № 9. – P. 54-60.
20. Кабалык М.А. Спектральные и текстурные характеристики субхондральной кости при гонартрозе // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 2.
Kabalyk M.A. Spectral and textural characteristics of subchondral bone in gonarthrosis // Modern Problems of Science and Education. – 2016. – № 2.
21. Гайдель А. В., Первушкин С. С. Исследование текстурных признаков для диагностики заболеваний костной ткани по рентгеновским изображениям // Компьютерная оптика. – 2013. – № 1.
Gaydel A.V., Pervushkin S.S. Study of texture features for diagnostics of bone tissue diseases using X-ray images // Computer Optics. – 2013. – № 1.
22. Гусева И.Е., Житков М.Ю., Логинова Н.К., Мохов А.В. Применение гармонического анализа изображений в гистоморфометрии // Стоматология. – 2013. – Т. 92, № 4. – С. 9-13.
Guseva I.E., Zhitkov M.Yu., Loginova N.K., Mokhov A.V. Application of harmonic image analysis in histomorphometry // Stomatology. – 2013. – Vol. 92, № 4. – P. 9-13.
23. Aerts H.J. W.L. The potential of radiomic-based phenotyping in precision medicine a review // JAMA Oncology. – 2016. – № 2 (12). – P. 1636-1642.
24. Erdim C., Yardimci A.H., Bektas C.T., et al. Prediction of benign and malignant solid renal masses: machine learning-based CT texture analysis // Academic radiology. – 2020. – Vol. 27, № 10. – P. 1422-1429.
25. Xi I.L., Zhao Y., Wang R., et al. Deep learning to distinguish benign from malignant renal lesions based on routine MR imaging // Clinical Cancer Research. – 2020. – Vol. 26, № 8. – P. 944-952.
26. Yap F.Y., Varghese B.A., Cen S.Y., et al. Shape and texture-based radiomics signature on CT effectively discriminates benign from malignant renal masses // European Journal of Radiology. – 2021. – Vol. 31, № 2. – P. 1011-1021.
27. Smyth P.P., Adams J.E., Whitehouse R.W., Taylor C.J. Application of computer texture analysis to the Singh Index // The British Journal of Radiology. – 1997. – № 70. – P. 242-247.
28. Lespessailles E. Clinical interest of bone texture analysis in osteoporosis: a case control multicenter study // Osteoporosis International. – 2008. – Vol. 19 (7). – P. 1019-1028.
29. Gipp M., Marcus G., Harder N., Suratane A., Rohr K., König R., Männer R. Haralick's Texture Features Computed by GPUs for Biological Applications // International Journal of Computer Science. – 2009. Vol. IJCS_36_1_09. 10 p.
30. Brunet-Imbault B. A new anisotropy index on trabecular bone radiographic images using the fast Fourier transform // BMC Medical Imaging. – 2005. – Vol. 5, № 4. – 11 p.
31. Mengko T.R., Pramudito J.T. Texture analysis of radiographs in the assessment of osteoporosis // IAPR Workshop on Machine Vision Applications. – 2002. Dec. 11-13. – P. 184-187.
32. Tamura H., Mori Sh., Yamawaki T. Textural Features Corresponding to Visual Perception // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 1978. June. – Vol. SMC-8. – P. 460-473.
33. Petrou M., Garcia Sevilla P. Image Processing: Dealing with Texture. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd., 2006. – 618 p.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья принята к публикации 12.07.2024.

The article was accepted for publication 12.07.2024.