

Автоматизированное распознавание кист на изображениях поперечных срезов челюстно-лицевой области, полученных методом компьютерной томографии

Аннотация

Описан способ автоматического распознавания кист внутри рентгеновского изображения сечения челюстной кости. С целью определения критерия наличия кист внутри кости проведено статистическое исследование. Разработан алгоритм программы поиска кист на рентгеновских изображениях.

Введение

В работе [1] содержится следующее описание кисты: «Киста представляет собой полостное образование доброкачественного характера, как правило, имеющее *округлую* форму, жидкое или полужидкое содержимое и *отграниченное* от окружающей полостной ткани соединительнотканной капсулой. Рентгенологически кисты имеют вид четко отграниченного от нормальной костной ткани просветления с кортикальным ободком по периферии *округлой* формы. Увеличиваясь, они теряют правильность формы в соответствии с сопротивлением костной ткани на пути их экспансии. Наличие полости, содержащей жидкость, которая *равномерно* давит на все стенки, обуславливает геометрически *правильную округлую* форму большинства радикулярных кист».

Пример изображения кисты представлен на *рис. 1а*. Обращает на себя внимание тот факт, что изображение кисты является достаточно однородным по яркости и *не содержит локальных потемнений*, что дополнительно осложняет процесс идентификации кист на изображении. Врач-стоматолог делает заключение о наличии кисты на текущем изображении поперечного среза на основании проанализированных им изображений кист и собственного опыта. Кратко кисту можно описать как равномерно окрашенную, округлую зону внутри кости с четкими контурами.

Цель рассматриваемой работы – разработка способа идентификации кист на рентгеновских изображениях челюстных костей человека. Для реализации заявленной цели поставлены и решены следующие задачи:

- 1) предложен метод выделения *губчатого вещества* кости на рентгеновском изображении;
- 2) на основании статистического исследования результатов обследований челюстно-лицевой области пациентов различных возрастных и половых групп определен критерий наличия кист в челюстных костях;
- 3) разработан алгоритм программы поиска кист на рентгеновских изображениях в челюстных костях человека.

Материалы и методы

Результат обследования челюстно-лицевой области, выполненного методом компьютерной томографии, является наиболее информативным для врача-стоматолога при диагностике кист, так как возможно построение сечения исследуемого объема любой плоскостью. В то же время на обычных пленочных снимках и снимках ОПТГ (ортопантограмма) кисты могут быть не видны вследствие эффекта проекционного наложения.

Обследования челюстно-лицевой области проводились на компьютерном томографе с коническим лучом «GALILEOS» (производство «Sigona GmbH», Германия).

Стандартным форматом файлов обследований для компьютерных томографов является формат изображений DICOM. Для подробного анализа таких изображений применяются различные фильтры. Рассмотрим фильтры Гаусса [2] и Кэнни [3].

С целью повышения отношения сигнал/шум к изображению применяется фильтр Гаусса. При необходимости выделе-

ния границ объектов на изображении используется фильтр Кэнни.

Для идентификации кисты на рентгеновском изображении поперечного среза челюстной кости человека необходимо сначала идентифицировать саму кость. Метод выделения границ челюстной кости заключается в последовательном применении фильтров Гаусса и Кэнни к изображению. Реализация данного метода предполагает фиксирование значения яркости пикселей, которые соответствуют изображению кортикальной пластинки здоровой челюстной кости. Принято, что данное значение яркости составляет не менее 1500 о. е. для компьютерного томографа «GALILEOS» (данные Лаборатории объемной дентальной диагностики «G.U.D. lab», г. Екатеринбург).

Рассмотрим подробно этапы предложенного метода определения границ челюстной кости.

1. Обработка исходного изображения (*рис. 1а*) фильтром Гаусса для повышения отношения сигнал/шум (*рис. 1б*).
2. Определение границ челюстной кости путем сравнения значений яркостей пикселей с принятым порогом в 1500 о. е. (пиксели кортикальной пластинки здоровой челюстной кости). Перебор пикселей выполняется сначала с левой, а затем и с правой стороны изображения. При обнаружении пиксела со значением яркости 1500 о.е. и более принимается, что данный пиксел принадлежит границе челюстной кости. Выявленные таким образом пиксели нанесены белым цветом на *рис. 1в*.
3. Применение фильтра Кэнни к изображению, содержащему выделенные границы челюстной кости (*рис. 1в*). Результат применения фильтра Кэнни представляет собой изображение с нанесенными границами перепадов яркости (*рис. 1г*).
4. Уточнение границ челюстной кости путем анализа окрестностей пикселей, нанесенных белым цветом на *рис. 1в*. В том случае, если пиксели границ перепадов яркости, полученные после обработки изображения фильтром Кэнни (*рис. 1г*), принадлежат указанным окрестностям, принимается, что такие пиксели также составляют контур челюстной кости. Полученный контур челюстной кости выделен белым цветом на *рис. 2а* (при размере окрестности 5×5 пикселей).

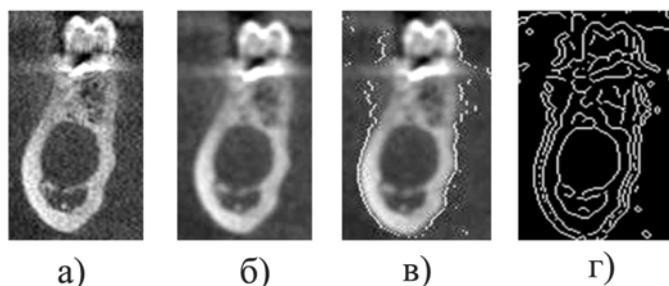


Рис. 1. Определение границ челюстных костей: а) исходное изображение; б) результат обработки исходного изображения фильтром Гаусса; в) нанесены границы челюстной кости на основе значений яркости пикселей костной ткани; г) результат обработки изображения (в) фильтром Кэнни

После выполнения идентификации границ челюстной кости необходимо удалить изображение костной ткани без признаков патологии. Как было заявлено, значение яркости пикселей, соответствующих костной ткани здоровой кортикальной пластинки, составляет не менее 1500 о. е. Исключение кортикальной пластинки предполагает удаление пикселей со значением яркости более 1500 о. е. в пределах границ челюстной кости, выделенных на *рис. 2а*. Удалению также подлежат пиксели, расположенные вне челюстной кости.

Таким образом, получено изображение губчатого вещества челюстной кости. Необходимо отметить, что в данном конкретном случае (*рис. 2б*) выделено изображение кисты. В общем случае выполняется выделение губчатого вещества, поэтому далее используется именно это наименование.

В медицинской литературе [1] форма кисты характеризуется как *округлая*, при этом идентификация кист на основе различий значений яркости (потемнение либо осветление) пикселей отсутствует. Поэтому было принято решение разработать метод автоматизированного распознавания кист на основе формы объектов, расположенных внутри границ челюстных костей. Предложенный метод распознавания кист включает в себя приведенные ниже этапы.

1. Применение к изображению губчатого вещества челюстной кости (*рис. 2б*) фильтра Кэнни с целью нанесения внешних границ (*рис. 2в*).
2. Применение заливки внутри границ, определенных на этапе 1 (*рис. 2г*).

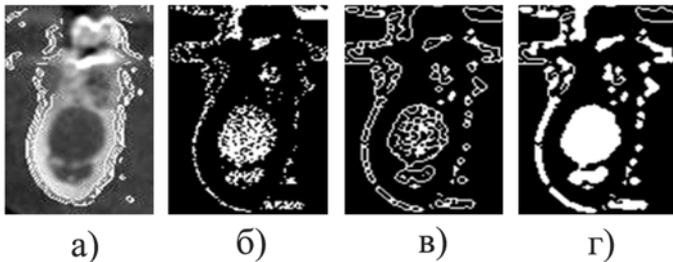


Рис. 2. Выделение губчатого вещества костной ткани:

- а) нанесены границы челюстной кости; б) выделено изображение губчатого вещества челюстной кости; в) к изображению (б) применен фильтр Кэнни; г) для изображения (в) применена заливка замкнутых областей

3. Исключение областей, содержащих менее 50 пикселей, на изображении с залитыми областями губчатого вещества (*рис. 2г*). Данная операция выполнена для минимизации числа объектов на изображении с целью ускорения дальнейшей обработки, результат представлен на *рис. 3а*.

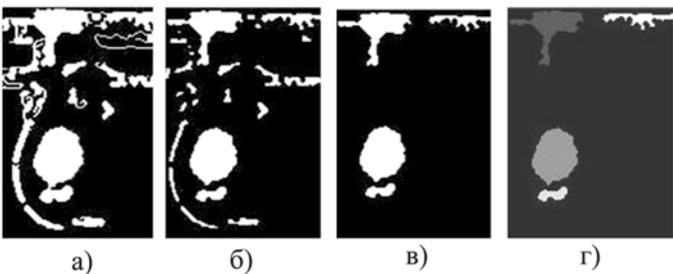


Рис. 3. Определение односвязных областей губчатого вещества: а) изображение с залитыми областями губчатого вещества; б) к изображению (а) применен специальный фильтр (маска) для утончения границ с целью разделения объектов, имеющих общие пиксели; в) на изображении (б) удалены области, содержащие менее 110 пикселей; г) пикселям каждой области присвоены уникальные значения яркости

4. Обработка изображения с залитыми областями губчатого вещества (*рис. 3а*) специальным фильтром (маской) для утончения границ с целью разделения объектов, имеющих общие пиксели (*рис. 3б*).

5. Повторное исключение областей, содержащих менее 110 пикселей, на *рис. 3б*. Результат представлен на *рис. 3в*. Данное исключение выполнено потому, что кисты диагностируют при диаметре очага более 10 мм [4]. Однако при автоматизированной обработке мы считаем возможным выполнять поиск очагов, имеющих диаметр от 4 мм. Площадь данного диаметра (4 мм) составляет 12,56 мм² или примерно 139 пикселей при масштабе изображения 0,09 мм² на пиксел. Значение в 110 пикселей выбрано с целью осуществления гипердиагностики заболеваний, при которых вероятно избыточное выделение здоровых участков губчатого вещества.
6. Определение односвязных областей на изображении (*рис. 3в*). Пикселям каждой области присвоены уникальные значения яркости (*рис. 3г*).
7. Определение параметра «округлости» каждой из областей на *рис. 3г*. В качестве решающего фактора, на основании которого делается вывод о наличии кисты внутри челюстной кости, была выбрана именно *округлая* форма патологического образования, вследствие чего необходимо вычислить параметр «округлости» [5] для каждой из областей на *рис. 3г*. В качестве данного параметра было выбрано следующее отношение:

$$K = 4\pi \cdot \frac{S}{l^2}, \quad (1)$$

где l – длина границы области; S – площадь области. Для круга данное отношение будет равно единице:

$$4\pi \cdot \frac{\pi R^2}{(2\pi R)^2} = 1.$$

Результаты

Критерием наличия кисты внутри челюстной кости является присутствие области, параметр «округлости» которой превосходит пороговое значение.

Пороговое значение параметра «округлости» определено на основе статистического исследования серии рентгеновских изображений челюстных костей человека, содержащих кисту. На основе выборки из 90 изображений удалось оценить среднее значение и доверительный интервал для порогового значения параметра «округлости». Выборка была выполнена среди изображений челюстных костей пациентов, прошедших обследование на компьютерном томографе с коническим лучом «GALILEOS» в Лаборатории объемной дентальной диагностики «G.U.D.lab» (г. Екатеринбург).

В качестве оценки был использован критерий Стьюдента. Окончательное выражение порогового значения для параметра K , определенного согласно формуле (1), принимает вид $K = 0,70 \pm 0,12$.

После проведенной статистической обработки был разработан алгоритм программы поиска кист на рентгеновских изображениях в челюстных костях человека. Данный алгоритм применяется к каждому из изображений поперечных срезов и состоит из следующих этапов:

- 1) исключение из зоны интереса кортикальной пластинки челюстной кости;
- 2) применение к изображению губчатого вещества кости фильтра Кэнни;
- 3) применение заливки внутри границ губчатого вещества;
- 4) исключение областей губчатого вещества, содержащих менее 50 пикселей;
- 5) обработка изображения специальным фильтром (маской) для утончения границ с целью разделения объектов, имеющих общие пиксели;
- 6) повторное исключение областей, содержащих менее 110 пикселей;
- 7) определение односвязных областей на изображении;
- 8) вычисление параметра «округлости» для каждой из односвязных областей;

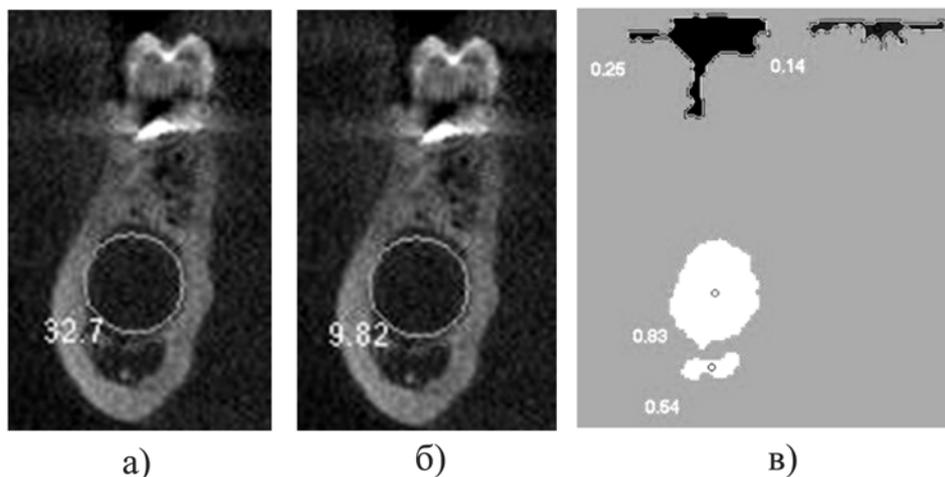


Рис. 4. Изображение кисты, аппроксимированное окружностью, выделено на исходном изображении: а) диаметр окружности указан в пикселях; б) диаметр окружности указан в миллиметрах; в) определены параметры «округлости» для каждой из областей

- 9) выделение областей с подозрением на патологию;
 10) аппроксимация подозрительных областей окружностью.
- Ниже приведена иллюстрация изложенного выше алгоритма программы для изображения поперечного среза нижней челюсти пациентки Ч. в возрасте 36 лет, прошедшей обследование на томографе «GALILEOS». Так как описание этапов 1-7 для данного изображения было выполнено в разделе «Материалы и методы», перейдем к описанию этапов 8-10.
8. Вычисление параметра «округлости» каждой из односвязных областей на рис. 3г. Значение параметра указано возле каждой из областей на рис. 4в.
9. Выделение областей с подозрением на патологию. Для последующего выделения областей с подозрением на кисту необходимо учитывать пороговое значение параметра «округлости», определенное на основании статистического исследования изображений кист внутри челюстных костей. Если принять значение данного порога равным 0,7, то из всех областей на рис. 4в подозрительной на кисту является только одна область с параметром «округлости», равным 0,83.
10. Аппроксимация подозрительных областей окружностью, наносимой на исходное изображение. Отобранная на предыдущем этапе область была аппроксимирована окружностью с центром в точке центра масс объекта и радиусом, определенным на основе удаленности точек границы от центра масс. Отображение радиуса окружности возможно как в пикселях (рис. 4а), так и в миллиметрах (рис. 4б).

Описанный выше алгоритм программы содержит в себе достаточно большое число операций с исходным поперечным срезом. С целью уменьшения длительности исполнения программного алгоритма анализу может быть подвергнуто каждое второе изображение, так как соседние изображения отличаются незначительно.

Заключение

В настоящий момент программное обеспечение для автоматизированного распознавания кист проходит тестирование в Лаборатории объемной дентальной диагностики «G.U.D.lab» (г. Екатеринбург).

Киста представляет собой достаточно крупный очаг патологии, потому изображение одной и той же кисты может быть зафиксировано на нескольких десятках поперечных срезов. Благодаря этому фиксация изображения кисты даже на одном из указанных поперечных срезов позволяет выполнить достоверную идентификацию данного очага патологии примерно в 72 % случаев.

Авторы выражают благодарность заведующему кафедрой экспериментальной физики УрФУ В.Ю. Иванову и профессору кафедры экспериментальной физики Б.В. Шульгину за поддержку в выполнении работы.

Список литературы:

1. Рабухина Н.А., Чупрынина Н.М. Рентгенодиагностика заболеваний челюстно-лицевой области. Руководство для врачей. – М.: Медицина, 1991. 368 с.
2. Velho L., Frery A.C., Gomes J. Image Processing for Computer Graphics and Vision Second Edition. – London: Springer Verlag Limited, 2009. P. 478.
3. Sanny J. A computational approach to edge detection // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 1986. Vol. 8. PP. 679-698.
4. Печковский К.Е. Рентгенологическая диагностика наиболее распространенных заболеваний в терапевтической стоматологии // Лучевая диагностика, лучевая терапия. 2012. № 4. С. 49-66.
5. Identifying Round Objects / The MathWorks Inc. Published with MATLAB® 7.9.

Максим Борисович Путрик,
 аспирант,
 кафедра экспериментальной физики,
 Уральский федеральный университет
 имени первого президента России Б.Н. Ельцина,
 Юлия Эдуардовна Лаврентьева,
 канд. мед. наук, генеральный директор,
 ЗАО «Центр изучения региональных стоматологических
 проблем с клиникой Уралдент»,
 Игорь Николаевич Анцыгин,
 канд. физ.-мат. наук, доцент,
 кафедра экспериментальной физики,
 Уральский федеральный университет
 имени первого президента России Б.Н. Ельцина,
 г. Екатеринбург,
 e-mail: pmb-88@mail.ru