

Automatyczna ocena krzywizny linii interokluzyjnej na zdjęciach pantomograficznych

Promotor: prof. dr hab. Kazimierz Szopiński

Promotor pomocniczy: dr Krzysztof Nowiński (ICM, UW)

Streszczenie

Wprowadzenie

Pantomogram jest jednym z najczęściej wykonywanych badań radiologicznych w stomatologii. Jest to zdjęcie warstwowe, pozwalające na zobrazowanie większości struktur anatomicznych części twarzowej czaszki oraz zawierające dużo informacji diagnostycznych.

Pomimo zaawansowanych rozwiązań technologicznych pantomogramy dzisiaj wykonywane nadal nie są wolne od błędów. Błędy te najczęściej są związane z nieodpowiednim przygotowaniem lub ustawieniem pacjenta do badania, nieprawidłowymi warunkami ekspozycji lub błędami związanymi z wywoływaniem obróbką i przechowywaniem zdjęć. W celu zapewnienia możliwie jak najlepszej jakości wykonywanych pantomogramów różni autorzy proponowali własne kryteria, na podstawie których można było stwierdzić, czy dane zdjęcie jest prawidłowo wykonane. Jednakże wszystkie z dostępnych sposobów oceny jakości opierają się na niejednoznacznej ocenie subiektywnej. W ramach tej pracy zaproponowano nową metodę obiektywnej oceny jakości pantomogramów ze względu na stopień zakrzywienia linii interokluzyjnej.

Linia interokluzyjna jest krzywą położoną pomiędzy zębami górnymi i dolnymi na pantomogramie. Ta linia odzwierciedla kształt łuków zębowych szczęki i żuchwy. Została ona wybrana do automatycznej oceny jakości zdjęć, ponieważ jest ona zlokalizowana w jasno określonym położeniu oraz można w prosty sposób za pomocą parametrów zdefiniować sposób jej zakrzywienia. Ponadto w zależności od kąta nachylenia i ustawienia głowy pacjenta podczas badania, zmienia się kształt tej linii i zarazem wartości parametrów, co umożliwia wartościowanie stopnia poprawności (lub niepoprawności) wykonanych zdjęć.

Cele pracy:

1. Wybór najlepszych metod (segmentacji, klasyfikacji, szkieletyzacji, aproksymacji), pozwalających na znalezienie linii interokluzyjnej na zdjęciu pantomograficznym.
2. Opracowanie metody automatycznego wyznaczania linii interokluzyjnej na pantomogramach.
3. Wyznaczenie parametrów pozwalających na obiektywną ocenę krzywizny płaszczyzny zgryzu oraz określenie ich wartości odcięcia pozwalających na ocenę jakości pantomogramu.
4. Określenie współczynników dokładności klasyfikacji dla wyznaczonych parametrów.
5. Ocena możliwości automatyzacji procesu obliczania parametrów pozwalających na ocenę stopnia krzywizny linii interokluzyjnej.

Material i metody

Poddano analizie dużą ilość metod klasyfikacji, segmentacji, szkieletyzacji i aproksymacji, które zostały szczegółowo opisane w rozdziale trzecim. Kryteria porównania tych metod pod kątem optymalnego wyodrębniania przestrzeni pomiędzy zębami górnymi i dolnymi zostały opisane w metodyce pracy (rozdział piąty).

W ramach niniejszej pracy zaproponowano własne parametry, określające kąty nachylenia liniowej funkcji aproksymującej po stronie prawej i lewej (α_P , α_L) do dolnej krawędzi zdjęcia, parametr średniej wartości bezwzględnej kątów nachyleń stycznych do wielomianowej funkcji aproksymującej (rzędu piątego) w równoodległych punktach tej funkcji w stosunku do dolnej krawędzi zdjęcia ($\bar{\gamma}$) oraz współczynnika asymetrii ($\Sigma\gamma$). Użyto także opisywanego w literaturze parametru krzywizny krzywej (*parametru c*). Dwóch niezależnych obserwatorów przeprowadziło weryfikację poprawności obliczania parametrów.

Do badania zakwalifikowano 120 pantomogramów (50 mężczyzn i 70 kobiet średnia wieku pacjentów $36,6 \pm 16,4$ lat) osób z pełnymi łukami zębowymi (nie wliczając drugich i trzecich zębów trzonowych) lub z pojedynczymi brakami, uzupełnionymi protetycznie (mosty, implanty). Do badania nie kwalifikowano pantomogramów osób z nieuzupełnionymi protetycznie brakami zębowymi (nie licząc drugich i trzecich zębów trzonowych). Zdjęcia pochodziły z materiału Zakładu Radiologii Stomatologicznej i Szczękowo-Twarzowej Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego i były wykonane na aparacie Planmeca ProMax 3D Mid.

Zdjęcia zostały zakwalifikowane przez dwóch niezależnych obserwatorów do dwóch równolicznych grup:

1. Spełniające kryterium jakości, mówiące o tym, że płaszczyzna zgryzu powinna być płaska lub w niewielkim stopniu zakrzywiona do dołu,
2. Niespełniające powyższego kryterium.

Metodą klasyfikacji nadzorowanej dla każdego parametru wyznaczono górne granice przedziałów ufności dla każdego z parametrów, poniżej których z 95% prawdopodobieństwem znajdują się pantomogramy spełniające kryterium jakości. Za dolną wartość graniczną uznano wartość zero, ponieważ wartości poniżej zera oznaczają pantomogramy, niespełniające kryterium jakości. Przeprowadzono ocenę dokładności klasyfikacji i wybrano parametr, którego klasyfikator był najdokładniejszy.

Wyniki

W wyniku przeprowadzonych analiz metod klasyfikacji, segmentacji, szkieletyzacji i aproksymacji, w aplikacji do analizy krzywizny linii interokluzyjnej użyto zmodyfikowaną przez autora pracy metodę segmentacji wododziałowej, autorską metodę detekcji krawędzi, opartą na operatorach Prewitta i Robertsa, statystyczną metodę znajdowania punktów startowych segmentacji, algorytm szkieletyzacji metodą pomiaru odległości oraz metody aproksymacji liniowej i wielomianowej. Do poprawnego działania aplikacji wybrano najdokładniejsze klasyfikatory – parametry, na podstawie którego aplikacja jednoznacznie potrafi stwierdzić, czy dane zdjęcie spełnia kryterium jakości. Najlepszymi parametrami pozwalającymi na ocenę krzywizny płaszczyzny zgryzu są $\bar{\gamma}$ i $\Sigma\gamma$. Wartości parametru $\bar{\gamma}$ w granicach $< 0 ; 11.82 >$ oraz parametru $\Sigma\gamma$ w granicach $< 0 ; 1.84 >$ pozwalają jednoznacznie stwierdzić, że kryterium jakości pantomogramu dotyczące płaszczyzny zgryzu jest spełnione.

Na podstawie wyznaczonej linii interokluzyjnej oraz parametrów aplikacja podejmuje decyzję, czy pantomogram spełnia kryterium jakości. Stosowanie aplikacji w codziennej praktyce może znacząco wpływać na jakość wykonywanych zdjęć poprzez zwiększenie kontroli systemu zapewniania jakości w danej placówce.

Wnioski

Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Najlepszą spośród zbadanych, metodą segmentacji, pozwalającą na znalezienie przestrzeni pomiędzy zębami górnymi i dolnymi, jest zmodyfikowana metoda segmentacji wododziałowej, wykorzystująca autorską metodę detekcji krawędzi oraz metodę znajdowania punktów startowych do segmentacji. Najlepszą metodą do wyznaczenia linii interokluzyjnej jest zmodyfikowany algorytm szkieletyzacji metodą pomiaru odległości i metoda aproksymacji wielomianowej.
2. Do automatycznego wyznaczania linii interokluzyjnej wykorzystano aplikację opartą na metodach segmentacji, szkieletyzacji i aproksymacji. Aplikacja wykreśla linię interokluzyjną w odpowiednim miejscu (przestrzeni pomiędzy zębami górnymi i dolnymi) na wczytanym pantomogramie oraz umożliwia wizualizację poszczególnych etapów wyznaczania tej linii.
3. Najlepszymi parametrami pozwalającymi na ocenę krzywizny płaszczyzny zgryzu są:
 - a. parametr \bar{Y} , pozwalający na rozróżnienie, w jakim stopniu płaszczyzna zgryzu jest zakrzywiona. Wartości parametru w granicach:
 - i. $< 0 ; 11,82 >$ – pozwalają stwierdzić, że kryterium jakości pantomogramu dotyczące płaszczyzny zgryzu jest spełnione
 - ii. $(-\infty ; 0) \cup (11,82 ; +\infty)$ – oznaczają, że pantomogram nie spełnia kryteriów jakości
 - b. współczynnik asymetrii ($\Sigma\gamma$) umożliwiający ocenę obecności asymetrycznego odchylenia krzywej płaszczyzny zgryzu po jednej stronie zdjęcia. Wartości parametru w granicach:
 - i. $< 0 ; 1,84 >$ – pozwalają stwierdzić, że płaszczyzna zgryzu jest symetryczna
 - ii. $(1,84 ; +\infty)$ – oznaczają, że pantomogram nie spełnia kryteriów jakości
4. Najwyższą dokładność uzyskano dla parametru \bar{Y} wynoszącą 93% oraz dla współczynnika asymetrii przy ocenie asymetrycznego odchylenia linii interokluzyjnej wynoszącą 77%.
5. Automatyzacja procesu obliczania parametrów pozwalających na ocenę stopnia krzywizny płaszczyzny zgryzu jest możliwa i została zrealizowana.