

# Automatyczny ilościowy opis kształtu ciała modelowatego na podstawie obrazów z tomografii komputerowej

Krzysztof Gorgolewski

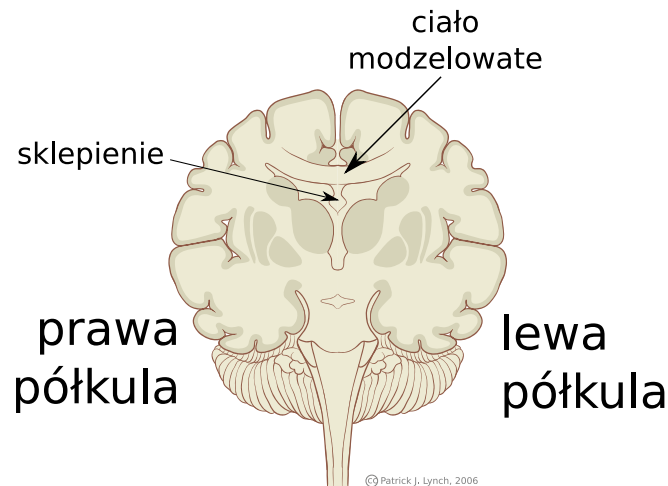
19 czerwca 2008

## 1 Wstęp

### 1.1 Wprowadzenie merytoryczne

Ciało modelowate inaczej spoidło wielkie (łac. *corpus collosum*) jest największym spoidłem w mózgu. Zbudowane jest z istoty białej (skupisk aksonów i dendrytów) i jest jednym z niewielu miejsc, które łączą dwie półkule mózgu (patrz Rysunek 1). Wymiana informacji pomiędzy częściami korowymi obu półkul odbywa się głównie właśnie przez ciało modelowate – stąd jego kluczowa rola w koordynacji procesów umysłowych.

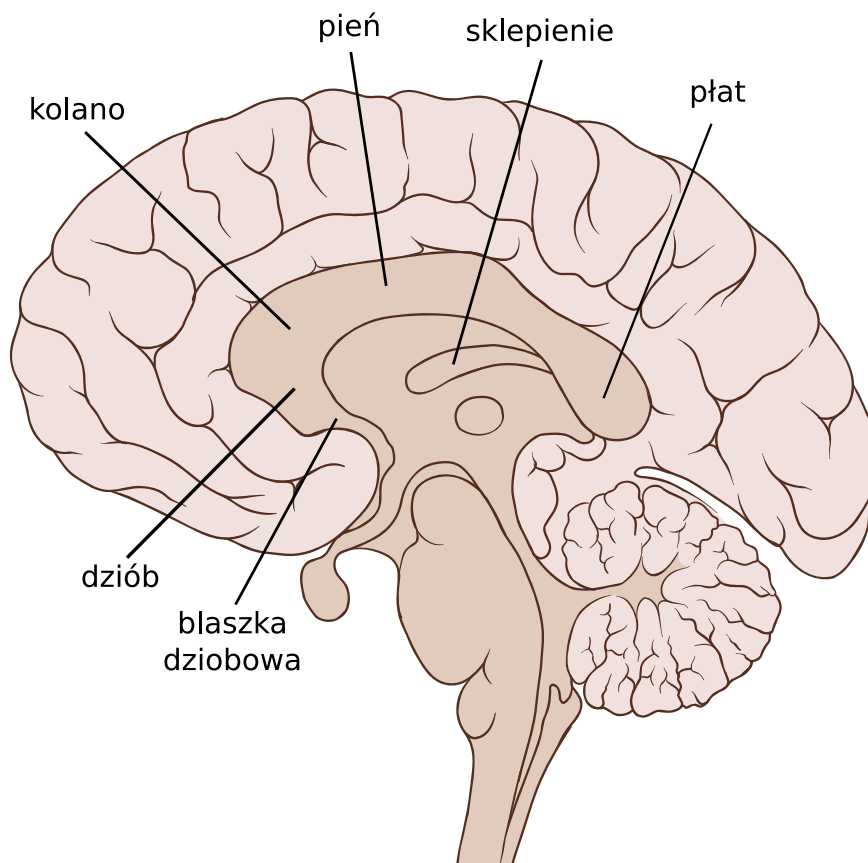
Tuż pod ciałem modelowatym znajduje się inne spoidło – sklepienie – łączące oba hipokampy (patrz Rysunek 1).



Rysunek 1: Przekrój poprzeczny mózgu.

Ciało modelowate składa się z następujących części (patrz Rysunek 2):

- pnia ciała modzelowatego (truncus corporis callosi) - części środkowej spoidła;
- płata (splenium corporis callosi) - zgrubiałej części tylnej, przechodzącej proksymalnie w pień;
- kolana (genu corporis callosi) - miejsca zagięcia pnia ciała modzelowatego ku dołowi w części bliższej spoidła;
- dziobu (rostrum corporis callosi) - najbardziej proksymalnej części tej struktury mózgu;
- blaszki dziobowej (lamina rostralis) - kończącej dziób ciała modzelowatego.



Rysunek 2: Przekrój strzałkowy mózgu.

Rolę w ciału modzelowatego najbardziej widać przy badaniu pacjentów po komisurotomii. Jest to zabieg wykonywany w skrajnych przypadkach epilepsji by zmniejszyć częstotliwość ataków. Polega on na przecięciu ciała modzelowatego co uniemożliwia silne wyładowania między neuronami z obu półkul zaobserwowane podczas ataków. Po takim zabiegu u pacjentów obserwuje się

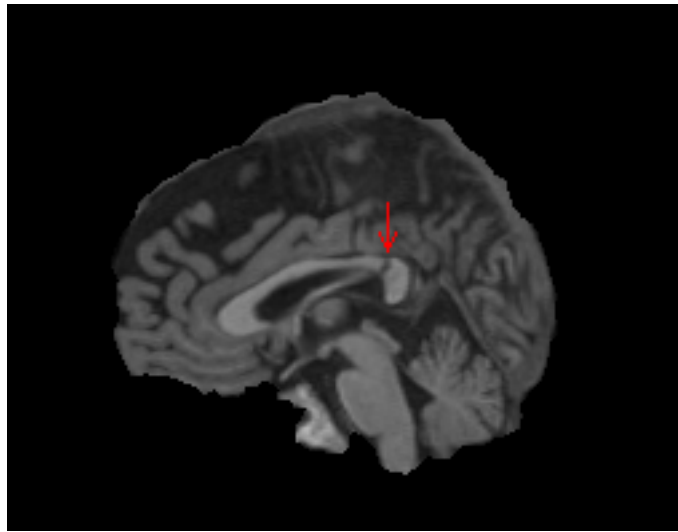
syndrom tzw. rozszczepionego mózgu. Obie półkule zaczynają działać z niewielkim przybliżeniem niezależnie. Ze względu na silną lateralizację funkcji mózgu dochodzi do sytuacji, w której lewa półkula może reagować tylko na bodźce z prawego pola widzenia (nerwy wzrokowe się krzyżują) a prawa na odwrót.

## 1.2 Zastosowania

Zmiany w kształcie i rozmiarze ciała modelowego były obserwowane u wielu grup chorych – schizofreników, narkomanów używających amfetaminy, dorosłych narażonych na alkohol w wieku prenatalnym czy też dzieci z zespołem ADHD. Szybko okazało się, że tylko całkowity rozmiar nie jest wystarczająco dobrym opisem – niektóre istotnie statystyczne różnice dotyczyły odchyień kształtu. Sam kształt w licznych badaniach był opisywany na różne sposoby: od najstarszego podejścia, czyli arbitralnego podziału ciała modelowego na sektory i policzenia ich powierzchni przez wyznaczanie osi środkowej i wyznaczania jej cech aż do przekształceń nieliniowych jednej figury w drugą. Niniejszy algorytm jest próbą wyznaczania osi przy pomocy algorytmu prostszego niż dotychczas stosowane (fixed topology skeletons z funkcją energetyczną). Przy okazji zajmuje się też problemem automatycznej segmentacji tej specyficznej struktury. Należy też nadmienić, że pełna automatyzacja generowania opisu pozwala na szybkie odkrywanie wiedzy istniejących już zbiorach danych neuroobrazowych bez potrzeby angażowania specjalistów, którzy ręcznie dokonywaliby obrysu struktury i wyznaczania jej parametrów.

## 1.3 Przyjęte założenia

W niniejszym rozwiązaniu przyjęto, że ciało modelowe ma półkolisty zawinięty do środka kształt, z jednym końcem ostrym (dziób) i znajduje się mniej więcej na środku przekroju strzałkowego. W obrazie tomografii komputerowej jest ono wyraźnie jaśniejsze (istota biała) i ciągle na całej długości. Ten ostatni warunek wyklucza przypadki pacjentów z stwardnieniem rozsianym, którzy mają mikrolezje w poprzek ciała modelowego na płaszczyźnie przekroju strzałkowego (patrz Rysunek 3).



Rysunek 3: Mikrolezja zaburzająca ciągłość przekroju ciała modelowego u pacjenta ze stwardnieniem rozsianym.

## 2 Algorytm

### 2.1 Dane wejściowe

Na wejściu algorytm dostaje plik w formacie Analyze lub Nifti zawierające skorejestrowany do atlasu i pozbawiony czaszki skan TK mózgu.

### 2.2 Dane wyjściowe

Na wyjściu algorytm podaje wektor cech opisujących oś ciała modelowego podzielonego na  $n$  segmentów: położenie każdego punktu, szerokość ciała modelowego w każdym punkcie, kąty pomiędzy stycznymi segmentami. Dodatkowo podawana jest całkowite pole powierzchni.

### 2.3 Przebieg

W pierwszym etapie plik jest wczytywany przy pomocy biblioteki *pynifti* i wybierany jest z niego jedna warstwa reprezentująca przekrój strzałkowy. W taki sposób obraz 3D zostaje zamieniony na obraz 2D. Następnie wewnętrzna reprezentacja *pynifti* jest zamieniana na obraz zgodny z biblioteką *opencv*. Po tej wstępnej obróbce następuje segmentacja obrazu.

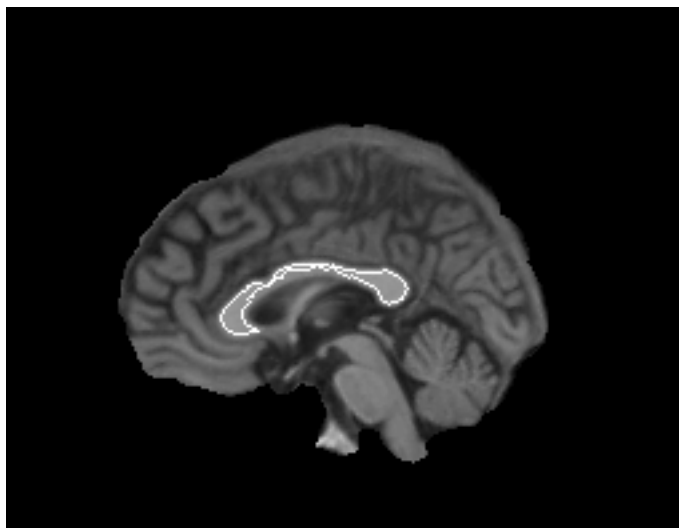
#### 2.3.1 Segmentacja

Algorytm segmentacji wykorzystuje to, że jasność ciała modelowego jest wyraźnie większa niż reszty mózgu. W pierwszym kroku trzeba wyznaczyć punkt znajdujący się w obrębie szukanej struktury. W tym celu wyznacza się najjaśniejszy punkt na pionowej linii przechodzącej mniej więcej przez kolano. Następnie wychodząc od tego punktu dokonuje się zmiany koloru punktów stycz-

nych według algorytmu *FloodFill*. Krytyczna jest czułość, czyli minimalna różnica między dwoma punktami, by jeden z nich zmienił kolor. By sobie poradzić z tym problemem zastosowano podejście iteracyjne. Najpierw wyznacza się segmentację dla małego progu – jeżeli przekroczy on krytyczne rozmiary bierze się go pod uwagę – i powoli zwiększa prób co owocuje zaznaczeniem co raz większego obszaru. Wyznaczono trzy warunki stopu:

1. krytyczną wartość progu
2. zwiększenie pola o krytyczna wartość (będącą funkcją całkowitego pola powierzchni)
3. zwiększenie maksymalnego wychylenia w części przedniej o krytyczną wartość

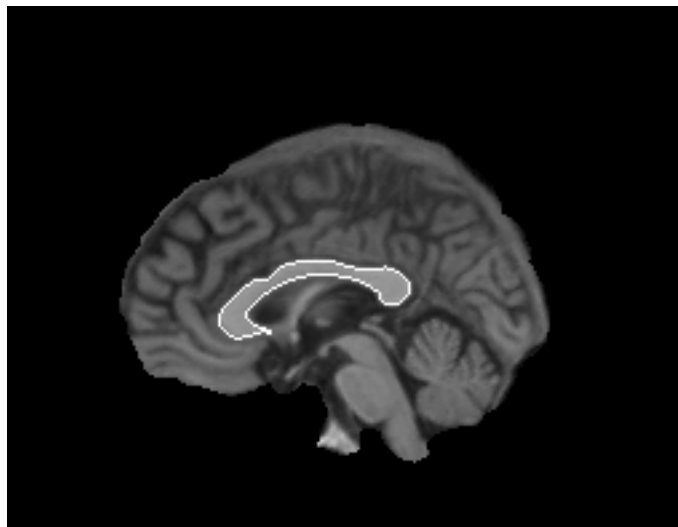
Po spełnieniu któregoś z tych warunków brany jest przedostatni obrys.



Rysunek 4: Obrys w początkowych iteracjach.

Pierwszy warunek jest gwarantem zakończenia algorytmu. Drugi warunek stara się maksymalizować obrys ciał modelowatych i za pomocą nagłego przyrostu pola wykryć zaznaczenie struktury przyległej (najczęściej sklepienia, które ma podobną jasność i jest położone bardzo blisko). Graniczny przyrost pola nie jest wartością stałą gdyż dla małych pól powierzchni tempo przyrostu jest duże (i dużo wartość graniczna) a dla dużych małe (i mała wartość graniczna). Nie przeszkadza to jednak w poprawnej segmentacji zdegenerowanych ciał modelowatych.

Trzeci warunek pozwala poradzić sobie z niedokładnie skorejestrowanymi obrazami, w których płaszczyzna wybranej warstwy nie jest równoległa do płaszczyzny strzałkowej. W takim wypadku płaszczyzna ta wychodzi poza szczelinę podłużną i na obrazie widać istotę białą z kory blisko ciała modelowatego. Jako że jest to istota biała z wnętrza bruzdy jest cienka i długa. Zaznaczenie jej w kolejnej iteracji nie zwiększy więc na tyle pola powierzchni by zadziałał warunek trzeci, ale znacznie zwiększy długość obrysowanej struktury.



Rysunek 5: Obrys w przedostatniej iteracji.

### 2.3.2 Wyznaczanie krańców

Uznano, że krańce osi ciał modelowanego powinny się znajdować na czubku dzioba z jednej strony i na środku płata z drugiej. W celu znalezienia tych punktów liczona jest krzywizna w każdym punkcie konturu. Obliczanie krzywizny dokonuje się algorytmem zaproponowanym przez M. Marji w swojej pracy doktorskiej. Polega on na interpolacji wielomianu drugiego stopnia w trzech punktach  $p_i, p_{i-k}, p_{i+k}$  gdzie  $p_i$  jest punktem dla którego bada się krzywiznę, a  $k$  odstępem na konturze. W ogólności przybliżony wielomian ma postać  $\gamma(t) = (x(t), y(t))$

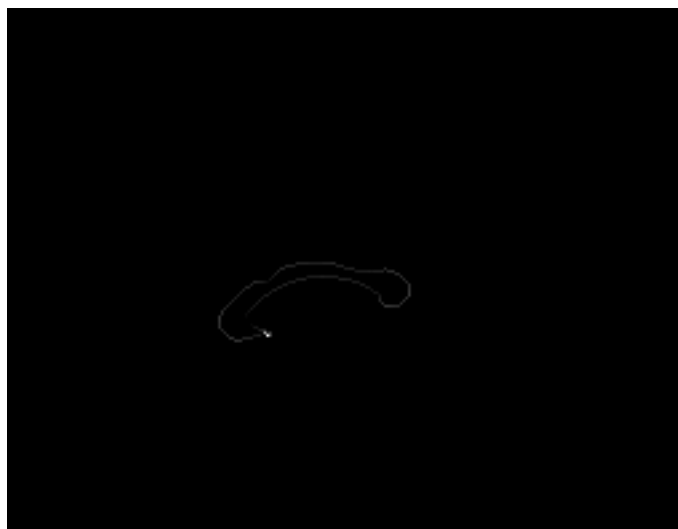
$$x(t) = a_2 t^2 + a_1 t + a_0$$

$$y(t) = b_2 t^2 + b_1 t + a_0$$

a  $t = 0$  dla  $p_i$ ,  $t = -1$  dla  $p_{i-k}$  oraz  $t = 1$  dla  $p_{i+k}$ . Wtedy krzywizna wynosi:

$$\kappa = \frac{2(a_1 b_2 - a_2 b_1)}{(a_1^2 + b_1^2)^{\frac{3}{2}}}$$

Krzywizna liczona jest dwa razy z różnym parametrem  $k$ . Do wykrywania spiczastego końca dzioba używane jest małe  $k$  (patrz Rysunek 6), a obłego środka płata duże  $k$  (patrz Rysunek 7). Za kraniec uznaje się maksymalną wartość krzywizny w danej połowie dla danego  $k$ .

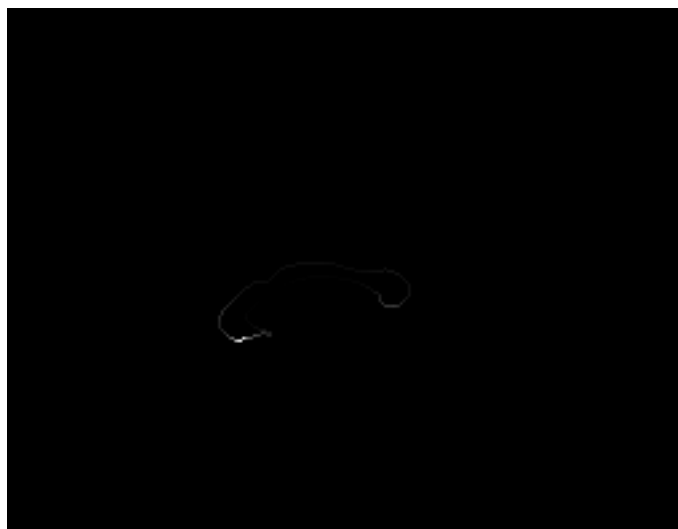


Rysunek 6: Krzywizna dla małego k.

### 2.3.3 Wyznaczanie osi

Krańce dzielą kontur na dwie części - brzuszną i grzbietową. Wyznaczanie osi dokonuje się w następujący sposób:

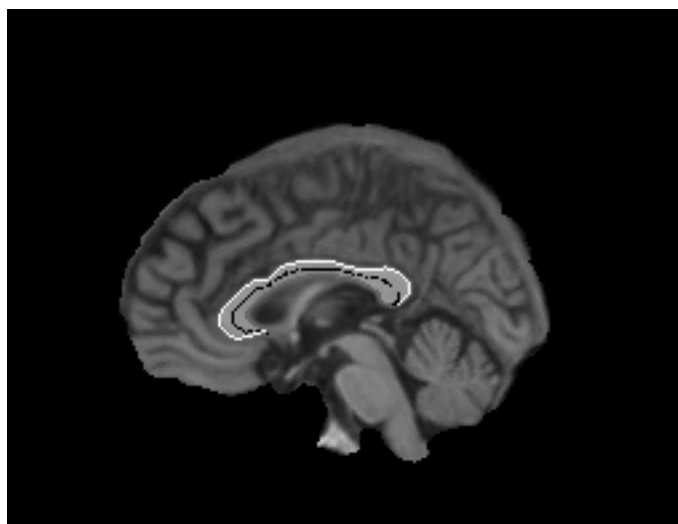
1. dla każdego punktu z części brzusznej znajdź najbliższy punkt z części środkowej
2. znajdź środek tak stworzonego odcinka i dodaj go do listy punktów osi wraz z jego długością



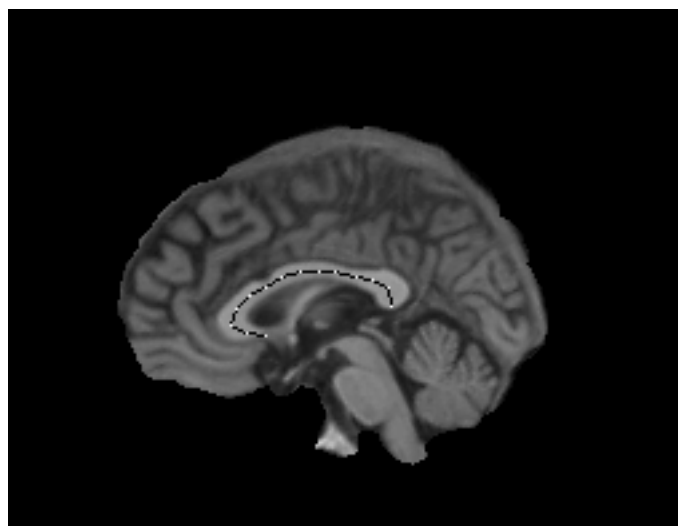
Rysunek 7: Krzywizna dla dużego  $k$ .

#### 2.3.4 Podział na odcinki

W ostatnim etapie oś jest dzielona na zadaną przez użytkownika ilość odcinków. Najpierw obliczana jest całkowita długość osi (suma odległości pomiędzy poszczególnymi punktami) następnie liczona jest długość jednego odcinka. Jako, że oś nie koniecznie musi być ciągła to to końcowy punkt odcinka wyznaczany jest jako pierwszy bardziej odległy od standardowej długości odcinka. W ostatniej fazie liczone są jeszcze kąty między odcinkami. Wszystkie wyliczone dotychczas informacje zwracane są na standardowe wyjście w postaci listy liczb oddzielonych przecinkami. Taka forma pozwala na wykorzystanie programu w skryptach i agregację w postaci pliku CSV.



Rysunek 8: Oś wraz brzuszna i grzbietową częścią konturu.

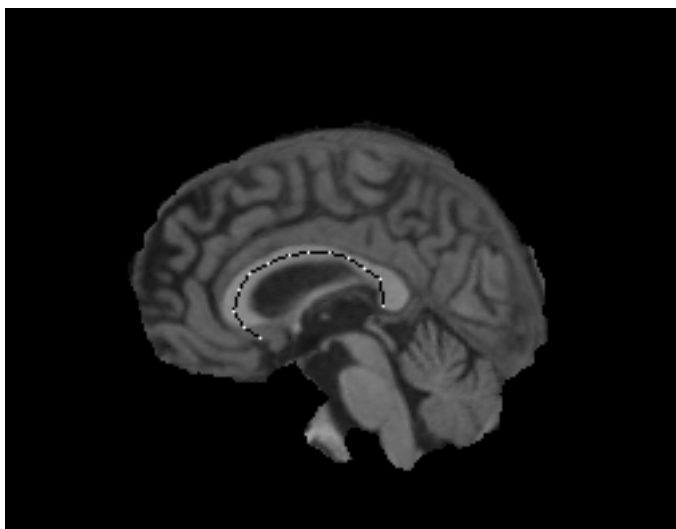


Rysunek 9: Wynik podziału na odcinki.

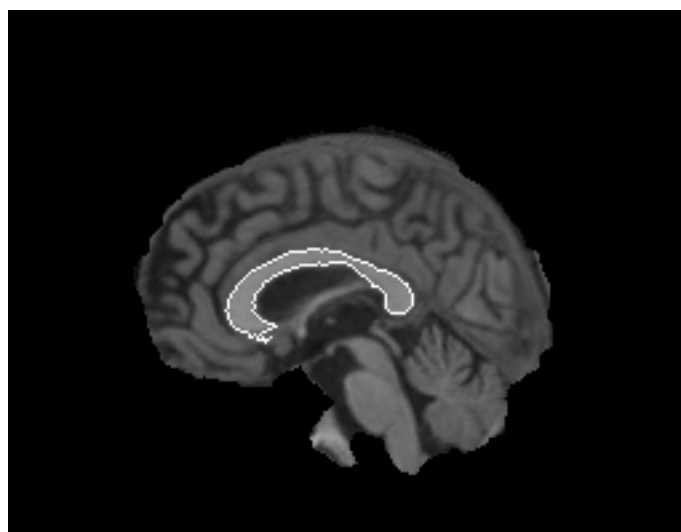
### 3 Ocena skuteczności

By sprawdzić przydatność wyliczonych cech kształtu trzeba by sprawdzić czy wykazują one istotne statystycznie różnice na zbiorach o których wiadomo z badań inną metodą, że się różnią. Z braku takich danych (ani też implementacji innej metody opisu kształtu) zastosowano inną ocenę sprawności algorytmu. Otóż człowiek może w łatwy sposób oglądając gotową sekwencję odcinków ocenić czy zostały one dobrze dopasowane.

Spośród 72 obrazów z badania pacjentów ze stwardnieniem rozsianym odrzucono 10 przypadków ze względu na nie spełnianie założeń algorytmu. Z pozostałych 62 aż 55 (88%) zostało opisanych bezbłędnie. 7 błędnych przypadków polegała na nieprawidłowym wykryciu jednego z końców ciała modelowego (patrz Rysunek 10). Jak się okazuje jest konsekwencją niedokładnej segmentacji, która generuje fałszywe maksima krzywizny (patrz Rysunek 11).



Rysunek 10: Błędnie opisany przypadek.



Rysunek 11: Błędnie wygenerowany obrys.