

体幹部 FDG-PET/CT 画像における統計画像解析法の基礎検討

清水 美帆[†] 原 武史^{††} 周 向荣^{††} 村松 千左子^{††} 伊藤 哲^{†††}
汲田 伸一郎^{††††} 石原 圭一^{††††} 片渕 哲朗^{††††} 藤田 広志^{††}

[†]岐阜大学工学部応用情報学科 〒501-1194 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

^{††}岐阜大学大学院医学系研究科再生医科学専攻知能イメージ情報分野 〒501-1194 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

^{†††}医療法人大雄会病院放射線科 〒491-8551 愛知県一宮市羽衣 1-6-12

^{††††}日本医科大学放射線医学講座 〒113-8602 東京都文京区千駄木 1-1-5

^{†††††}岐阜医療科学大学保健科学部放射線技術学科 〒501-3892 岐阜県関市市平賀字長峰 795-1

E-mail: [†]{ miho, hara, zxr, chisa, fujita }@fjt.info.gifu-u.ac.jp

あらまし

本研究では、PET/CT 装置から得られる CT 画像における臓器領域の自動検出と体幹部における統計学的解析法の有用性を検証する方法の基礎検討を行った。一般 CT 装置から得られる画像用に開発した臓器領域の自動検出アルゴリズムを用いて抽出結果の精度評価を行ったところ、これまでの抽出精度と同程度の結果を得た。また、SUV と標準化で得られた Z-score についてそれぞれ ROC 解析を行った結果、肝臓は 4 症例中 3 症例、右肺は 11 症例中 5 症例において Z-score の AUC が SUV の AUC を上回った。以上から、体幹部 FDG-PET/CT 画像の統計学的解析法の評価法が示された。

キーワード FDG-PET, SUV, Z-score

Comparison of SUVs and Z-scores on torso FDG-PET/CT scans based on statistical image analysis method

Miho SHIMIZU[†] Takeshi HARA^{††} Xiangrong ZHOU^{††}

Chisako MURAMATSU^{††} Satoshi ITOH^{†††} Shin-ichiro KUMITA^{††††}

Kei-ichi ISHIHARA^{††††} Tetsuro KATAFUCHI^{†††††} and Hiroshi FUJITA^{††}

[†]Department of Information Science, Faculty of Engineering, Gifu University,
1-1 Yanagido, Gifu, Gifu, 501-119 Japan

^{††}Department of Intelligent Image Information, Gifu University Graduate School of Medicine,
1-1 Yanagido, Gifu, Gifu, 501-119 Japan

^{†††}Department of Radiology, Daiyukai Hospital, 1-6-12 Hagaromo, Ichinomiya, Aichi, 491-8551 Japan

^{††††}Department of Radiology, Nippon Medical School, 1-1-5 Sendagi, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8602 Japan

^{†††††}Department of Radiological Technology, Faculty of Health Science, Gifu University of Medical Science,
795-1 Ichihiraga aza nagamine, Seki, Gifu, 501-3892 Japan

E-mail: [†]{ miho, hara, zxr, chisa, fujita }@fjt.info.gifu-u.ac.jp

Abstract The purpose of this study is to develop a statistical analysis method of glucose metabolism on torso FDG-PET/CT scans. The techniques of segmentation of organ region, deformation, and mapping are important for the statistical analysis. In this study, we segmented organ region automatically from CT scans of PET/CT and standardized them anatomically. We obtained Z-scores as the statistical information and discussed the usability of Z-score to distinguish the uptakes between normal and abnormal. As the result, the AUCs of Z-score are larger than those of SUV on some of the cases.

Keyword FDG-PET, SUV, Z-score, Anatomical standardization

1. はじめに

我々は、体幹部 FDG-PET 画像において統計学的画像解析法による異常集積領域の検出を行う CAD の開発を行っている。統計学的画像解析法は、主に 3D-SSP や SPM といった脳機能解析に用いられており、正常症例データベースと対象症例を比較することにより、異常を同定する[1]。この解析法を体幹部に適用するには、領域の抽出、変形、統計情報のマッピングの技術が必要である。そこで、効率的な臓器領域の抽出、また、統計情報の利用について検討した。

臓器領域の抽出は、手動で行う場合、症例数に比例して負担が増大する。その負担を軽減するために、臓器領域の自動検出が有用であると考えた。そこで本研究では、PET/CT 装置における CT 画像から、臓器領域を自動検出し、その評価を行った。

また、FDG-PET 検査では、糖代謝を知るための評価値として、Standardized Uptake Value(SUV)が用いられる。しかし、この値は生体の状態により変化するため半定量的といわれており、症例や臓器によって値の範囲が異なるため、画像診断を行う上で問題となっている。そこで、統計情報である Z-score の利用法を考察してきた。本研究において、その評価法を検討し、有用性の検証を試みた。

2. 画像の仕様

使用した画像は、PET/CT 画像正常症例 50 症例（男性：39 例、女性：11 例）、異常症例 23 症例（男性：22 例、女性：1 例）である。表 1 に画像の詳細を示す。

表 1. 画像の仕様

	PET	CT
画像サイズ	144×144×212~465	512×512×143~372
ピクセル間隔	4.00×4.00[mm ²]	1.15×1.15[mm ²]
スライス厚	4.00 [mm]	5.00[mm]
撮影直径	576[mm]	600[mm]

3. PET/CT による CT 画像において自動検出された Bounding Box の評価

PET/CT 装置における CT 画像において、臓器領域を

自動検出し、その評価を行った。ここで、臓器領域は、臓器を覆う最小の直方体（以下 Bounding Box）として表される。

3.1. 実験

本研究で PET/CT 装置における CT 画像より Bounding Box の自動検出を行ったソフトウェアは、CT 装置における CT 画像に対して最適化されている。しかしながら、PET/CT 装置における CT 画像と CT 装置における CT 画像は仕様が異なるため、使用したソフトウェアが PET/CT 装置における CT 画像に対してどの程度適用できるかを検証した。

3.2. 評価方法

対象臓器は、心臓、右肺、左肺、肝臓、右腎臓、左腎臓とする。評価は、自動検出された Bounding Box と手動で測定した正解 Bounding Box との重心のずれ (Distance)、及び、式(1)を用いて算出される Bounding Box の体積分散比 (Volume variance ratio) の 2 つの指標を用いて行う。

$$1 - \frac{\text{自動検出された Bounding Box の体積}}{\text{手動で測定した正解 Bounding Box の体積}} \quad (1)$$

これらの指標は、同ソフトウェアを用いて CT による CT 画像より自動検出を行った Bounding Box に対する評価に用いられているため[2]、これまでの結果と比較することで評価を行う。

3.3. 結果と考察

心臓 49 症例、肝臓 49 症例、右腎臓 49 症例、左腎臓 48 症例、右肺 69 症例、左肺 69 症例について実験を行った。検出例を図 1 に、重心のずれ及び Bounding Box の体積分散比を図 2 に示す。9 割以上の症例が、重心のずれは 5~45[mm]、Bounding Box の体積分散比は -50%~10% の範囲に分布していた。これらは、CT による CT 画像からの自動検出における評価[2]と同等であると考えた。

以上より、PET/CT 装置における CT 画像からの Bounding Box の検出は、CT 装置における CT 画像より自動検出する場合と同等の精度を持つといえる。

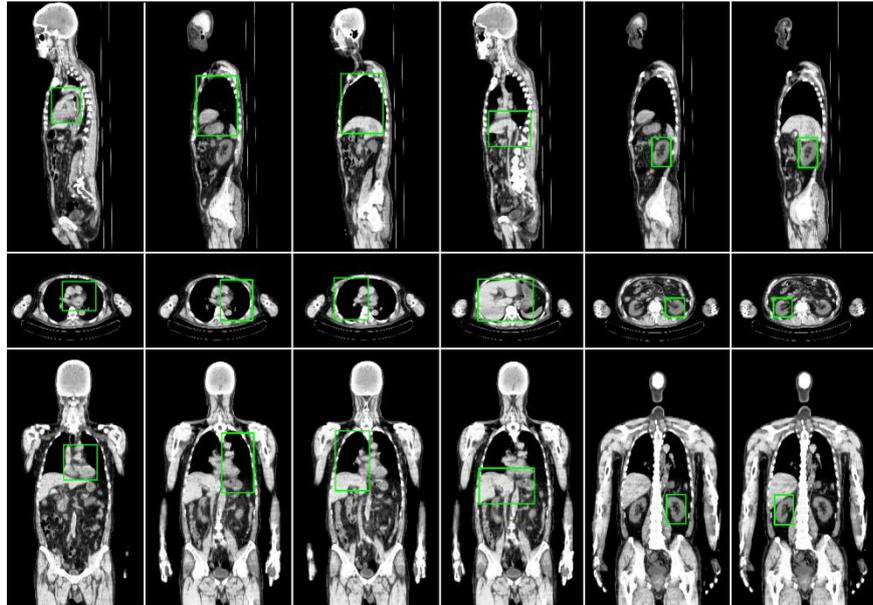


図 1. Bounding Box の自動検出結果例

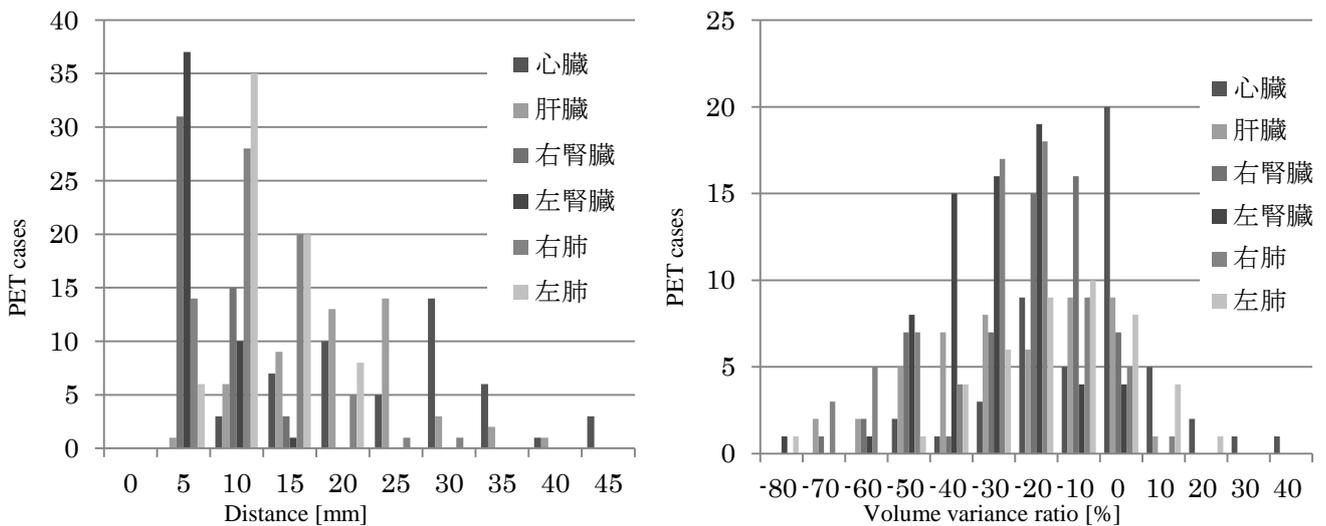


図 2. Bounding Box の評価

4. Z-score の有用性の検証

4.1. Z-score の算出

SUV は単位体重あたりの投与量に対する集積比である。それに対し、Z-score は解剖学的標準化の後に以下の式(2)を画素ごとに適用して計算される。

$$Z\text{-score} = \frac{\text{対象症例 SUV} - \text{正常平均 SUV}}{\text{正常標準偏差 SUV}} \quad (2)$$

4.2. 実験

正常症例 50 症例を用いて正常モデルを構築した。正常モデルは平均モデルと標準偏差モデルの 2 組からなる。正常モデルの構築に伴い、あらかじめ決定した

1 症例に対して、対象臓器ごとに、自動検出された Bounding Box の大きさを剛体変形により合わせ、解剖学的標準化を行った。Z-score の算出には異常症例 14 症例を使用した。うち、肝臓 4 症例、右肺 11 症例である。

4.3. 結果と考察

SUV と算出した Z-score それぞれについて、各症例における正常部分異常部分を正しく判別できるかを検証するため、ROC 解析を行った。その結果を表 2 に示す。

肝臓は 4 症例中 3 症例、右肺は 11 症例中 5 症例において Z-score の AUC が SUV の AUC を上回った。右肺においてすべての症例を総合して解析を行った結果、

Z-score の AUC が SUV の AUC を上回った。また、全ての臓器と症例を総合して解析を行った結果、Z-score の AUC が SUV の AUC を上回った。そのときの ROC 曲線を図 3 に示す。

Z-score の AUC が SUV の AUC を下回った症例が複数あったが、その原因の一つとして、今回症例における異常部分の抽出は手動で行ったが、機能画像である PET 画像上では異常部分の境界は不明瞭であり、抽出の際に正常部分と異常部分が一部混同したと考えられる。また、SUV の値のみで正常部分と異常部分が明確に分かれる症例の場合は Z-score の有用性が目立たなかった。

しかしながら、Z-score の AUC が SUV の AUC を下回った症例について、t 検定を行った p 値をみると、ほとんどの症例において有意差があるとはいえない値であり、少なくとも SUV と同程度の有用性を持っているといえる。また、特に正常部分と異常部分で一部類似した SUV の値を持つ症例においては Z-score が有効に働くと考えられる。

以上より、SUV の値を正規化する Z-score の有用性が示唆された。

表 2. ROC 解析結果

Case	AUC		p	
	SUV	Z-score		
肝臓	1	0.835	0.845	0.826
	2	0.847	0.807	0.441
	3	0.811	0.846	0.335
	4	0.818	0.828	0.710
	all	0.799	0.766	0.023
右肺	1	0.835	0.845	0.826
	2	0.842	0.801	0.012
	3	0.840	0.812	0.202
	4	0.815	0.823	0.458
	5	0.806	0.829	0.224
	6	0.810	0.834	0.433
	7	0.828	0.820	0.604
	8	0.860	0.838	0.184
	9	0.810	0.829	0.000
	10	0.848	0.831	0.597
	11	0.736	0.701	0.228
all	0.779	0.806	0.475	
all	0.775	0.779	0.920	

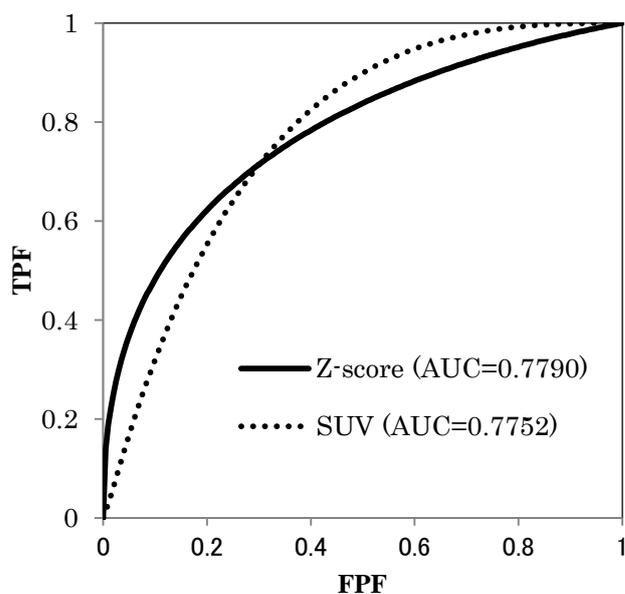


図 3. ROC 曲線例 (すべての症例を合わせた場合)

5. まとめ

PET/CT 装置における CT 画像における臓器領域の自動検出に対する評価と、統計情報である Z-score の有用性を検証する方法の基礎検討を行った。複数の臓器について、PET/CT 装置における CT 画像からの自動検出であっても、CT 装置における CT 画像の場合と同程度の精度を得ることを確認した。また、SUV と Z-score それぞれに対し ROC 解析を行った結果、複数の症例において Z-score の AUC が SUV の AUC を上回った。以上から、Z-score は SUV 以上の有用性を持つ指標として評価できると考える。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金・新学術領域研究（医用画像に基づく計算解剖学の創成と診断・治療支援の高度化、医用画像に基づく計算解剖学の多元化と高度知能化診断・治療への展開）、基盤研究（C）24500543/23591802、地域イノベーション戦略支援プログラム（都市エリア型）岐阜県南部エリア（可能性試験）、および岐阜大学活性化経費の補助により行われました。

文 献

- [1] 内田佳孝, 伊東久夫, 飯森隆志, 他, “統計学的画像診断 (3D-SSP)”, 日本放射線技術学会雑誌, vol.58, no.12, pp.1563-1572, December 2002.
- [2] X.Zhou, A.Yamaguti, X.Zhou, T.Hara, R.Yokoyam, M.Kanematsu, and H.Fujita: Automatic organ localizations on 3D CT images by using majority-voting of multiple 2D detections based on local binary patterns and Haar-like features, Proc. of SPIE Medical Imaging 2013: Computer-Aided Diagnosis, 8670, 86703A-1 - 86703A-7, (2013).