原著論文

X線撮影条件設定のためのファジィ推論を用いた人体腹厚の推定†

近藤 裕二*

本論文では、X線撮影の撮影条件設定に必要な腹厚を、三角型ファジィ関数を用いたファジィ推論によって推定する方法を提案する。

医学における放射線領域のX線撮影では、撮影条件（管電圧、管電流、X線照射時間）は、X線写真のコントラスト、粒状性に大きな影響を与えている。また、体型の違いによる腹厚は、その設定に大きな影響を与えている。腹厚の変化による撮影条件の設定は、腹厚計による実測値から設定しているか、自動露出制御（Automatic Exposure Control : AEC）を使用する方法があるが、前者においては、デジタル技術の出現で余り正確に行われなくなっている現状がある。そこで、肥満度、体格指数などの体型（身長・体重）の情報よりファジィ推論を行い、その推論値と腹厚計による実測値との相関関係より腹厚の推定ができるか検討する。腹厚（正面）はBody Mass Index（体重/身長^{2.0}：ファジィ推論値）と、腹厚（側面）は1.5 Power Index（体重/身長^{1.5}：ファジィ推論値）と良く相関し、その一次回帰式よりX線撮影に必要な腹厚の推定が可能であることを示す。

キーワード：ファジィ推論，X線撮影，腹厚，肥満度，体格指数

1. はじめに

近年X線撮影技術は、増感紙・フィルムを用いるアナログ方式から、Computed Radiography(以下CR)、Flat Panel Detector(以下FPD)などを用いるデジタル方式に移行していく傾向にある。また、コンピュータ支援診断技術や膨大な画像の保管法などに対して、これらのデジタル技術が有効に活用されることが予測される。

デジタル方式によるX線撮影では、アナログ方式のように“一定のフィルム濃度を得るための一定のX線量”という基準はなく、照射する線量がある程度変化しても、画像データの後処理により一定の画像濃度で出力できるという利点がある。そのためデジタル方式では、例えば腹部や腰椎を撮影する場合において、腹厚計や自動露出制御(AEC: Automatic Exposure Control)機構[1]などを使用しないで、目測で腹厚を推定して撮影条件の設定をするなど、必ずしも適正な撮影がなされていない現状がみられる。

診療放射線技師(以下放射線技師)として厳格に被検者の腹厚を測定することは重要であると考え、しか

し臨床の現場では、金属、ボタンなどX線吸収の大きな障害物が衣服に無い場合、着衣のままでのX線撮影であるので、被検者の腹厚を測定することはほとんど無い。特に男性放射線技師が女性の被検者の腹厚を、衣服を着ていない状態で測定することは、プライバシーの観点から困難である。またAECにおいては、装置が高価なため小規模の病院、医院では導入しにくい現状がある。

一方デジタル方式は、照射するX線量を大きくするほどSignal-to-Noise Ratio(SNR：信号対雑音比)が高くなり、X線量を上げていってもSNRが一定になるプラトー領域に達するまで画質がよくなる傾向がある。このため、多くの医療施設では、高画質を得るためにアナログ方式の場合より多いX線量を用いたデジタル撮影が行われ、被検者に無用な被曝をさせている傾向がみられる[2]。さらに平成16年に発表されたLANCETの論文[3]では、我が国の診断X線撮影頻度が推定され、癌起因リスクの推定値は、他の先進13カ国では0.6～1.8%の範囲であるのに対し、日本では3.2%であると報告されている。このような状況下において、現場の放射線技師にとって適正な線量でのX線撮影は重要な課題である。

そこで本論文では、適正線量でX線撮影するための条件設定(管電圧、管電流、照射時間)に必要な腹厚を推定するためファジィ推論[4,5,6,7]を適用する。す

† Predicting of Abdominal Thickness of Human Body Using Fuzzy Reasoning for Selecting Radiographic Factors
Yuji KONDO

* 名古屋接済会病院 放射線部
Department of Radiology, Nagoya Ekisaikai Hospital

なわち、身長と体重より算出される肥満度、体格指数[8,9,10]を基に、人間の「太っている」「普通」「痩せている」という、境界が不明確で曖昧さを持っている概念に対しファジィ推論を適用する。

ファジィ推論のX線撮影条件への応用に関する論文は、これまでに、「経験」とか「勘」とかという言葉で片付けられていた微妙なノウハウを、4人の放射線技師の経験則よりメンバーシップ化しファジィ推論したものがある。それは、標準撮影条件を1.0とした補正係数を算出し、その係数を標準撮影条件に乗じてシミュレーションを行っているX線撮影条件設定に関する論文で、上田[11]によって報告されているが、腹厚を推定したものではない。本論文では、ファジィ推論に選択された適正なファジィ変数とファジィラベルを適用したことで、X線撮影条件設定に重要なファクターである被検者の腹厚を、被検者の身長と体重より精度良く推定する方法を報告する。

2. ファジィ推論をするための指数の選択

X線撮影において条件設定に必要な腹厚は、「太っている」「普通」「痩せている」かの肥満の度合いに大きく影響される。その肥満の判定には1)体脂肪率の測定による方法、2)標準体重による方法、3)体格指数による方法、4)体脂肪分布による方法がある。この中より、被検者から簡単に得られる情報である身長と体重をパラメータとした2)、3)の方法を選択し、被検者の腹厚を推定するファジィ推論を行うために適用した。

著者が勤務する病院において、今回の調査の趣旨を説明し承諾を得た成人体型被検者148名(16～89歳、平均年齢52.4±19.9歳)、男性76名(16～84歳、平均年

齢45.7±18.1歳)、女性72名(19～89歳、平均年齢59.4±19.2歳)、青年層49名(16～40歳、平均年齢28.6歳±6.8歳)、壮年層37名(41～60歳、平均年齢50.9±5.4歳)、老年層62名(61～89歳、平均年齢72.0±7.5歳)の6グループに分け、身長・体重をパラメータとした各種指数と、被検者の正面での腹厚(臍の位置)、側面での腹厚(ヤコブ氏線[12]上方1～2cmの位置)との間の相関係数を算出した。この相関係数の中から良い相関関係を示した指数をファジィ推論するための基準指数として選択する。

はじめに、標準体重から算出される肥満度(Obesity Index, 以下OI)による方法[13]を次に述べる。標準体重は身体能力、生理機能、罹患率、死亡率など、健康面からみて望ましい体重を設定したものである。標準体重の求め方には、1)統計学的な分布論に基づくもの、2)保健医学的にみた最低死亡率に基づくもの、3)身長に基づいた単純な算出式によるもの、4)Body Mass Index(以下BMI)に基づくもの(理想体重)、がある。この中から罹患率と関係のある4)BMIに基づく標準体重[14,15]から算出されるOIを求め、被検者の腹厚との相関を調査した。まず、標準体重を(1)式を用いて算出する。

$$\text{標準体重(kg)} = \text{身長(m)}^2 \times 22 \quad (1)$$

ただし、標準BMIを22とする。つぎに(2)式を用いてOIを求める。

$$\text{OI(\%)} = (\text{実測体重} - \text{標準体重}) / \text{標準体重} \times 100 \quad (2)$$

OIの判定は、標準体重に基づくOIが±10%以内を普通(正常)とし、-10%以下を低体重(やせ)、+10～20%をやや肥満(過体重)、+20%以上を肥満としている[16]。(2)式を使用し、OIと各グループの被検者の正

表1 肥満度・体格指数と実測腹厚との相関係数 (r)

		OI	0.5PI	WHR	1.5PI	BMI	2.5PI	RI
全体	正	0.803	0.661	0.734	0.798	<u>0.834</u>	<u>0.827</u>	0.778
	側	0.656	0.793	<u>0.820</u>	<u>0.826</u>	0.793	0.715	0.604
男性	正	<u>0.825</u>	0.726	0.770	0.804	<u>0.823</u>	0.823	0.803
	側	0.773	0.796	<u>0.815</u>	<u>0.821</u>	0.808	0.775	0.724
女性	正	0.821	0.719	0.777	0.820	<u>0.844</u>	<u>0.844</u>	0.827
	側	0.702	0.727	0.762	<u>0.780</u>	<u>0.778</u>	0.756	0.719
青年層	正	0.831	0.812	0.845	<u>0.862</u>	<u>0.857</u>	0.826	0.773
	側	0.715	0.785	<u>0.798</u>	<u>0.793</u>	0.765	0.714	0.646
壮年層	正	0.854	0.731	0.784	0.830	<u>0.858</u>	<u>0.857</u>	0.824
	側	0.801	0.835	<u>0.858</u>	<u>0.867</u>	0.852	0.806	0.728
老年層	正	0.776	0.766	0.817	<u>0.851</u>	<u>0.857</u>	0.827	0.766
	側	0.604	0.828	<u>0.834</u>	<u>0.836</u>	0.783	0.696	0.588

面腹厚, 側面腹厚との相関を調査した.

つぎに, 体格指数による方法では, 代表的な体格指数として以下の3種類がある.

比体重 (Weight to Height Ratio, 以下WHR)

$$= \text{体重 (kg)} / \text{身長 (m)}^{1.0} \quad (3)$$

$$\text{BMI} = \text{体重 (kg)} / \text{身長 (m)}^{2.0} \quad (4)$$

$$\text{Rohler Index (以下RI)} = \text{体重 (kg)} / \text{身長 (m)}^{3.0} \quad (5)$$

さらに今回の調査で考案した, 以下の3種類も体格指数として追加し, 各グループの被検者の正面腹厚, 側面腹厚との相関を調査した.

$$0.5\text{Power Index (以下0.5PI)} = \text{体重 (kg)} / \text{身長 (m)}^{0.5} \quad (6)$$

$$1.5\text{Power Index (以下1.5PI)} = \text{体重 (kg)} / \text{身長 (m)}^{1.5} \quad (7)$$

$$2.5\text{Power Index (以下2.5PI)} = \text{体重 (kg)} / \text{身長 (m)}^{2.5} \quad (8)$$

調査した正面・側面腹厚とOIならびに体格指数の相関係数を表1に示す. 下線を引いた数値は, 相関係数の高かったものを表す. この中から計算上の取り扱い易さも考慮して, 正面腹厚と相関の高かったグループBMIと側面腹厚と相関の高かったグループ1.5PIを, ファジィ推論をするための基準指数として選択した.

3. ファジィ推論値と腹厚との相関関係の調査

2. の調査より良い相関関係を示したBMI, 1.5PIを基準に, 以下の方法でファジィ推論を行った. 本論文で使用した推論法は, ファジィ関係の合成則に基づくもので, 連続型で三角型の2種類のファジィ変数を用いた. 図1, 図2に今回用いた三角型ファジィ変数を示す. 縦軸にメンバーシップ関数のグレード値を0.0~1.0とし, 横軸に被検者148名のBMIの平均値(M)と標準偏差(SD)を求め, $M=0.0$, $-3SD=-1.0$, $+3SD=1.0$ とし, BMIの定義域 $-4SD \sim +4SD$ と $-5SD \sim +5SD$ のグラフを作成した. 同様にOI, 0.5PI,

図1 7つの三角型ファジィ変数

図2 4つの三角型ファジィ変数

WHR, 1.5PI, 2.5PI, RIに関しても同様なグラフを作成した.

3.1 7つの三角型ファジィ変数を用いた方法

ファジィ制御の制御則をテーブル化したものを表2に示す. そして2つの入力値をX: BMIとY: OIとすると, $\text{BMI} \times \text{OI}$ と表記し, 非ファジィ化された推論値を2つの制御側のFuzzy BMI (以下FBMI) とする.

入力値は $[-1 (-3SD), 1 (3SD)]$ の閉区間で, 非ファジィ化計算は $[-1 (-3SD), 1 (3SD)]$ 上で定義された7つの三角型ファジィ変数と $[-1.33 (-4SD), 1.33 (4SD)]$ で定義された7つの三角型ファジィ変数の2種類を使用する. ただし, X, Yを入力した時のメンバーシップ関数が重なり合わない場合, Yの値が後件部のメンバーシップ関数の値より大きいときには, 後件部のメンバーシップ関数の最大値を, Yの値が後件部のメンバーシップ関数の値より小さいときには, 後件部のメンバーシップ関数の最小値をYとして入力する. そして表2の制御則を用い, X1~X(37, 49, 62, 72, 76, 148) 6グループのFBMIを算出し, その値と実測腹厚との相関係数を求める. 同様にして下記

表2 7つの三角型ファジィ変数の状態評価ファジィ制御則

	Y(OI, 0.5PI, WHR, 1.5PI, BMI, 2.5PI, RI)						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	—	—	—	—
NM	NM	NM	NM	NM	—	—	—
NS	NS	NS	NS	NS	NS	—	—
ZO	—	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	—
PS	—	—	PS	PS	PS	PS	PS
PM	—	—	—	PM	PM	PM	PM
PB	—	—	—	—	PB	PB	PB

の関係においても相関係数を求める。

$$\begin{aligned} & \text{BMI} \times 0.5\text{PI}, \text{BMI} \times \text{WHR}, \text{BMI} \times 1.5\text{PI}, \\ & \text{BMI} \times 2.5\text{PI}, \text{BMI} \times \text{RI} \end{aligned} \quad (9)$$

X: 1.5PIに関しては, Fuzzy 1.5PI(以下F1.5PI)を下記の関係で上記と同様な方法で相関係数を求める。

$$\begin{aligned} & 1.5\text{PI} \times \text{OI}, 1.5\text{PI} \times 0.5\text{PI}, 1.5\text{PI} \times \text{WHR}, \\ & 1.5\text{PI} \times \text{BMI}, 1.5\text{PI} \times 2.5\text{PI}, 1.5\text{PI} \times \text{RI} \end{aligned} \quad (10)$$

以下, 7つの三角型ファジィ変数を用いたFBMIをFBMI(7), F1.5PIをF1.5PI(7)と表記する。

3.2 4つの三角型ファジィ変数を用いた方法

4つの三角ファジィ変数を用いた方法についても, 表3の制御則において, 3.1と同様な方法で, FBMI, F1.5PIを計算し相関係数を求める。入力値は[-1(-3SD), 1(3SD)]の閉区間で, 非ファジィ化計算は[-1(-3SD), 1(3SD)]上で定義された4つの三角型ファジィ変数と[-1.67(-5SD), 1.67(5SD)]で定義された4つの三角型ファジィ変数の2種類を使用する。以下, 4つの三角型ファジィ変数を用いたFBMIをFBMI(4), F1.5PIをF1.5PI(4)と表記する。

表3 4つの三角型ファジィ変数の状態評価ファジィ制御則

		Y(OI, 0.5PI, WHR, 1.5PI, BMI, 2.5PI, RI)			
		NB	NS	PS	PB
X(BMI, 1.5PI)	NB	NB	NB	NB	—
	NS	NS	NS	NS	NS
	PS	PS	PS	PS	PS
	PB	—	PB	PB	PB

3.3 7および4つの三角型ファジィ変数から求めた推論値の組み合わせ

前節の計算結果を基に, 7および4つの三角ファジィ変数を組み合わせる手法により, 改善を図る。

BMI, 1.5PIを7つの三角型ファジィ変数の場合は,

- ① -3SD ~ -2SD(7)
- ② -2SD ~ -SD(7)
- ③ -SD ~ 0(7)
- ④ 0 ~ SD(7)
- ⑤ SD ~ 2SD(7)
- ⑥ 2SD ~ 3SD(7)

の6グループに分けFBMI(7), F1.5PI(7)を計算する。4つの三角型ファジィ変数の場合は,

- ⑦ -3SD ~ -SD(4)
- ⑧ -SD ~ SD(4)

① SD ~ 3SD(4)

の3グループに分けFBMI(4), F1.5PI(4)を計算する。

そして下記のような組み合わせを作成し相関係数を求める。

- (1) -3SD ~ -SD(4) [⑦], -SD ~ 3SD(7) [③④⑤⑥] (痩せている被検者を4つの三角型ファジィ変数) (痩せている被検者以外を7つの三角型ファジィ変数)
- (2) -3SD ~ 0(4) [⑦], 0 ~ 3SD(7) [④⑤⑥] (平均値以下の被検者を4つの三角型ファジィ変数) (平均値以上の被検者を7つの三角型ファジィ変数)
- (3) -3SD ~ SD(4) [⑦], SD ~ 3SD(7) [⑤⑥] (太っている被検者以外を4つの三角型ファジィ変数) (太っている被検者を7つの三角型ファジィ変数)
- (4) -3SD ~ SD(7) [⑦⑧], SD ~ 3SD(4) [①] (太っている被検者以外を7つの三角型ファジィ変数) (太っている被検者を4つの三角型ファジィ変数)
- (5) -3SD ~ 0(7) [⑦⑧], 0 ~ 3SD(4) [④⑤] (平均値以下の被検者を7つの三角型ファジィ変数) (平均値以上の被検者を4つの三角型ファジィ変数)
- (6) -3SD ~ -SD(7) [⑦⑧], -SD ~ 3SD(4) [④⑤] (痩せている被検者を7つの三角型ファジィ変数) (痩せている被検者以外を4つの三角型ファジィ変数)

4. 計算結果と考察

7, 4つの三角型ファジィ変数における各グループのX: BMI, X: 1.5PIとY: OI, Y: 各体格指数によってファジィ推論したFBMI, F1.5PIと実測腹厚との相関係数を表4, 5に示す。太字の数値は, X: BMI, X: 1.5PIと実測腹厚との相関係数を表し, 下線を引いた数値は, その相関係数より高くなった数値を表す。

7, 4つの三角型ファジィ変数において, ファジィ推論をすることによって相関係数が高くなった関係には次のような傾向があることが分かった。X: BMIにおいて正面腹厚は, 分母の値を大きくしていく指数Y: 2.5PI, Y: RIによって相関係数が改善され, ファジィ推論することで正面腹厚の成分を反映させることができると確認できた。側面は, 分母を小さくしていくY: 0.5PI, Y: WHR, Y: 1.5PIによって改善される傾向であった。

相関係数を求めるにあたり, 被検者を6グループに分けファジィ推論前と推論後の比較検討をした。各グループのファジィ推論前と推論後の最高値を示した相関係数を表6に示す。被検者全体の相関係数より, グループごとに相関係数を求めた方が高い数値を示すグループがあった。同じグループの比較において一番上昇が高かったグループは, 正面腹厚男性と側面腹厚青

年層の0.031ポイントで、一番低かったグループは、側面腹厚全体の0.001ポイントであった。被検者全体とその他のグループとの比較では、一番上昇が高かったグループは、側面腹厚壮年層の0.053ポイントで、一番低かったグループは、側面腹厚女性の-0.039ポイントであった。

ファジィ推論後の相関係数は、推論前の相関係数よりすべてのグループで改善している結果となった。やはりファジィ推論は相関係数を上昇させる方法としては有用であると考える。

7つの三角型ファジィ変数において、非ファジィ化に[-3SD, 3SD][-4SD, 4SD]の2種類のメンバーシップ関数を用いたが、両者の結果にあまり変化はなかった。しかし4つの三角型ファジィ変数においては、1.5PIの側面腹厚で、青年層のグループの一部を除けばすべての指数で[-5SD, 5SD]のメンバーシップ関数を用いた方が0.003~0.032ポイント高い数値を示した。

次に相関係数をさらに良くするために、「太ってい

る」「普通」「痩せている」というファジィ集合に対して、7および4つの三角型ファジィ変数の組み合わせについて検討した結果を述べる。

この組み合わせによる方法で最高値を示した相関係数を表7に示す。正面腹厚とFBMIとの相関係数は、7および4つの三角型ファジィ変数の組み合わせを行うことで、すべてのグループで数値を高くすることができた。特に表4の結果の女性では、最高値が0.844であったが、女性BMI×2.5PIの結果の(3)-3SD~SD(4)[㊸][㊹],SD~3SD(7)[㊺][㊻]の組み合わせにより0.871と数値を高くすることができた。正面腹厚に対しては、痩せている被検者に4つの三角型ファジィ変数を、太っている被検者は7つの三角型ファジィ変数を適用した方がより体格を反映させた推論ができることを表している。この傾向は、他のグループでも見受けられた。

側面腹厚に関しても側面腹厚とF1.5PIとの相関係数は、7および4つの三角型ファジィ変数の組み合わせを行うことで、すべてのグループで数値を高くするこ

表4 7つの三角型ファジィ変数におけるFBMI, F1.5PIと実測腹厚との相関係数

7つの三角型ファジィ変数			閉区間[-1(-3SD), 1(3SD)]						
	X	Y	OI	0.5PI	WHR	1.5PI	BMI	2.5PI	RI
全体	BMI	正	0.824	0.760	0.781	0.817	0.834	<u>0.836</u>	0.774
	1.5PI	側	0.785	0.818	0.825	0.826	0.817	0.789	0.768
男性	BMI	正	<u>0.835</u>	0.762	0.791	0.811	0.823	0.828	0.819
	1.5PI	側	0.813	0.817	<u>0.825</u>	0.810	<u>0.821</u>	0.808	0.797
女性	BMI	正	0.818	0.796	0.802	0.820	0.844	<u>0.847</u>	0.814
	1.5PI	側	0.775	0.752	0.766	0.780	0.778	0.777	0.778
青年層	BMI	正	0.855	0.830	0.851	0.848	0.857	0.850	0.828
	1.5PI	側	0.773	<u>0.807</u>	<u>0.803</u>	0.782	0.782	0.765	0.766
壮年層	BMI	正	0.840	0.811	0.803	0.831	0.845	0.842	0.828
	1.5PI	側	0.836	0.857	0.865	0.893	0.866	0.842	0.820
老年層	BMI	正	0.808	0.792	0.830	0.839	0.857	0.841	0.797
	1.5PI	側	0.770	0.835	<u>0.843</u>	0.836	0.812	0.780	0.752
			閉区間[-1.33(-4SD), 1.33(4SD)]						
全体	BMI	正	0.826	0.761	0.781	0.814	0.834	<u>0.836</u>	0.778
	1.5PI	側	0.781	0.818	0.825	0.826	0.818	0.786	0.764
男性	BMI	正	0.835	0.764	0.793	0.812	0.823	<u>0.828</u>	0.819
	1.5PI	側	0.808	<u>0.813</u>	<u>0.821</u>	0.810	<u>0.812</u>	0.803	0.792
女性	BMI	正	0.821	0.795	0.800	0.822	0.844	0.843	0.818
	1.5PI	側	0.774	0.757	0.770	0.780	<u>0.782</u>	0.777	0.777
青年層	BMI	正	0.856	0.834	0.854	0.851	0.857	0.851	0.830
	1.5PI	側	0.769	<u>0.804</u>	<u>0.800</u>	0.782	0.771	0.762	0.761
壮年層	BMI	正	0.840	0.811	0.803	0.837	0.845	0.842	0.828
	1.5PI	側	0.836	0.856	0.864	0.893	0.866	0.842	0.820
老年層	BMI	正	0.811	0.804	0.830	0.842	0.857	0.843	0.800
	1.5PI	側	0.766	0.839	<u>0.847</u>	0.836	0.814	0.777	0.749

とができた。特に表6の結果の青年層では、最高値が0.793であったが、青年層1.5PI×0.5PIの結果の(1)～3SD～SD(4) [C], -SD～3SD(7) [C①E②F]の組み合わせにより0.813と数値を高くすることができた。側面腹厚に対しては、正面腹厚と同様、痩せている被検者に4つの三角型ファジィ変数を、太っている被検者は7つの三角型ファジィ変数を適用した方がより体格を反映させた推論ができることを表している。この傾向は、女性と老年層を除けば、他のグループでも見受けられた。

5. 相関係数の検討

5.1 Pearsonの相関係数の有意性の検定

この調査で求めたすべての相関係数に対して、その有意性をPearsonの相関係数の検定[17]により行った。表1、表4、表5、表7に示したすべての相関係数は、標準化値 $Z_{cal}=4.18\sim10.35$ 、有意水準 $\alpha=0.01$ 、自由度 34～145において棄却領域 $R>Z_0(0.005)=2.576\sim2.732$ であった。すべての相関係数

は、 $Z_{cal}>Z_0$ の棄却領域 R の中に入るので、有意水準0.01で帰無仮説を棄却、すなわち相関関係が危険率1%で認められたので、すべての関係において良い相関を示し有意性があることを確認した。

5.2 2群の平均値の差の検定(対応のある場合)

2群の平均値の差の検定において、表6に示すファジィ推論前と推論後の2群の相関係数の平均値の差の検定[18]を行った。相関係数上昇効果の有無を検する問題なので、ここでは片側検定を行った。腹厚正面・側面におけるファジィ推論前の群と推論後の群は、正面標準化値 $t_{cal}=4.760$ 、側面標準化値 $t_{cal}=3.700$ 、有意水準 $\alpha=0.01$ 、自由度5において正面は棄却領域 $R>t_0(0.01)=4.032$ で、側面は棄却領域 $R>t_0(0.01)=3.364$ であった。したがっていずれも $t_{cal}>t_0$ の棄却領域 R の中に入るので、有意水準0.01で帰無仮説を棄却、すなわちこの2群の間に有意性があり、ファジィ推論を行うことにより、相関係数を上昇させる効果があると危険率1%で認められたことを確認した。

表5 4つの三角型ファジィ変数におけるFBMI, F1.5PIと実測腹厚との相関係数

4つの三角型ファジィ変数			閉区間[-1(-3SD), 1(3SD)]						
	X	Y	OI	0.5PI	WHR	1.5PI	BMI	2.5PI	RI
全体	BMI	正	<u>0.845</u>	0.766	0.794	0.825	0.834	<u>0.847</u>	0.835
	1.5PI	側	0.766	0.805	0.815	0.826	0.803	0.781	0.750
男性	BMI	正	<u>0.842</u>	<u>0.842</u>	0.797	0.824	0.823	<u>0.841</u>	<u>0.838</u>
	1.5PI	側	0.794	0.791	0.805	0.810	0.810	0.795	0.784
女性	BMI	正	<u>0.847</u>	<u>0.847</u>	0.816	0.837	0.844	<u>0.851</u>	0.837
	1.5PI	側	0.747	0.751	0.760	0.780	0.763	0.765	0.748
青年層	BMI	正	<u>0.863</u>	<u>0.863</u>	0.830	0.855	0.857	<u>0.861</u>	0.853
	1.5PI	側	0.765	0.771	0.782	0.782	0.779	0.762	0.752
壮年層	BMI	正	0.836	0.836	0.813	0.832	0.845	0.838	0.823
	1.5PI	側	0.852	0.847	0.857	0.893	0.864	0.853	0.838
老年層	BMI	正	0.841	0.841	0.835	0.852	0.857	0.850	0.825
	1.5PI	側	0.730	0.835	0.832	0.836	0.786	0.760	0.717
			閉区間[-1.67(-5SD), 1.67(5SD)]						
	X	Y	OI	0.5PI	WHR	1.5PI	BMI	2.5PI	RI
全体	BMI	正	<u>0.842</u>	0.761	0.796	0.821	0.834	<u>0.842</u>	<u>0.839</u>
	1.5PI	側	0.781	0.820	<u>0.827</u>	0.826	0.810	0.793	0.765
男性	BMI	正	<u>0.830</u>	0.783	0.800	0.815	0.823	<u>0.830</u>	<u>0.828</u>
	1.5PI	側	0.806	0.810	<u>0.819</u>	0.810	<u>0.815</u>	0.807	0.796
女性	BMI	正	<u>0.853</u>	0.780	0.818	0.836	0.844	<u>0.852</u>	<u>0.850</u>
	1.5PI	側	0.772	0.768	0.774	0.780	0.775	<u>0.782</u>	0.775
青年層	BMI	正	0.856	0.829	0.850	0.851	0.857	0.855	0.846
	1.5PI	側	0.763	<u>0.794</u>	<u>0.796</u>	0.782	0.772	0.759	0.747
壮年層	BMI	正	0.842	0.812	0.824	0.838	0.845	<u>0.848</u>	0.829
	1.5PI	側	0.857	0.858	0.867	0.893	0.872	0.864	0.841
老年層	BMI	正	0.848	0.805	0.842	0.856	0.857	0.853	0.838
	1.5PI	側	0.760	<u>0.857</u>	<u>0.851</u>	0.836	0.806	0.782	0.749

表6 各グループのファジィ推論を実施する前・後の相関係数の平均値の比較

腹厚	ファジィ推論 前・後	全体 (148名)	男性 (76名)	女性 (72名)	青年層 (49名)	壮年層 (37名)	老年層 (62名)	平均値	標準 偏差	t 値
正面	前	0.834	0.823	0.844	0.857	0.858	0.857	0.846	0.015	4.760
	後	0.860	0.854	0.871	0.874	0.867	0.864	0.865	0.007	
	差	0.026	0.031	0.027	0.017	0.009	0.007	0.020	0.004	
側面	前	0.826	0.821	0.780	0.793	0.867	0.836	0.821	0.031	3.700
	後	0.827	0.828	0.787	0.813	0.879	0.853	0.831	0.032	
	差	0.001	0.007	0.007	0.020	0.012	0.017	0.011	0.003	

表7 7, 4つの三角型ファジィ変数から求めた推論値の組み合わせによる相関係数(最高値)

	方向	X×Y	相関係数	組み合わせ
全体	正	BMI×2.5PI	0.860	(3)・3SD～SD(4) [㉔㉕], SD～3SD(7) [㉔㉕]
	側	1.5PI×WHR	0.821	(3)・3SD～SD(4) [㉔㉕], SD～3SD(7) [㉔㉕]
男性	正	BMI×OI	0.854	(1)・3SD～SD(4) [㉔], -SD～3SD(7) [㉔㉕㉖㉗]
	側	1.5PI×WHR	0.828	(1)・3SD～SD(4) [㉔], -SD～3SD(7) [㉔㉕㉖㉗]
女性	正	BMI×2.5PI	0.871	(3)・3SD～SD(4) [㉔㉕], SD～3SD(7) [㉔㉕]
	側	1.5PI×Rohler	0.787	(5)・3SD～0(7) [㉔㉕㉖], 0～3SD(4) [㉔㉕]
青年層	正	BMI×OI	0.874	(3)・3SD～SD(4) [㉔㉕], SD～3SD(7) [㉔㉕]
	側	1.5PI×0.5PI	0.813	(1)・3SD～SD(4) [㉔], -SD～3SD(7) [㉔㉕㉖㉗]
壮年層	正	BMI×2.5PI	0.867	(3)・3SD～SD(4) [㉔㉕], SD～3SD(7) [㉔㉕]
	側	1.5PI×BMI	0.879	(3)・3SD～SD(4) [㉔㉕], SD～3SD(7) [㉔㉕]
老年層	正	BMI×2.5PI	0.864	(2)・3SD～0(4) [㉔㉕], 0～3SD(7) [㉔㉕㉖]
	側	1.5PI×0.5PI	0.853	(6)・3SD～SD(7) [㉔㉕], -SD～3SD(4) [㉔㉕]

6. まとめ

以下に本論文で得られた結果をまとめる。

- (1) 各グループのBMI, 1.5PIと実測正面・側面腹厚との相関係数(ファジィ推論前)と各グループのFBMI, F1.5PIと実測正面・側面腹厚との相関係数(ファジィ推論後)を表6にまとめた。ファジィ推論前の群と推論後の群との間には、有意性は認められた。よって腹厚推定にファジィ推論は有用であると考ええる。
- (2) デジタル腹部・腰椎撮影に必要な正面・側面腹厚推定は、各被検者を表8のグループに分ける。続いて身長と体重より表8の各体格指数の組み合わせによりFBMI, F1.5PIを求めて、さらに図3のように各グループの一次回帰式を求め、その一次回帰式のXにFBMI, F1.5PIを代入し正面・側面の腹厚Yを求める。

腹厚計の使用を勧める活動も必要と考えるが、目測による条件設定を行っている放射線技師が勤務している施設において、本論文で示したファジィ推論を用いた腹厚推定法は、各施設でアナログ法による比感度を設定し、その比感度に対応した撮影条件を設定すれば

腹部・腰椎撮影に充分適用できる。また放射線技師が勤務していなくて、医師がX線撮影を行っている施設でも充分適用できると考えられる。現在多くの病院、医院では、大～小規模の電子カルテシステム、オーダーリングシステムが導入され、被検者の基礎データとして、身長と体重は入力されている。この入力値よりFBMIとF1.5PIを求め、腹部・腰椎撮影において、

図3 FBMI(青年層)と実測正面腹厚との相関

表8 各グループの腹厚推定のための相関係数, 一次回帰式, 組み合わせ

	年齢	グループ	相関係数	一次回帰式(Y:推定腹厚)	組み合わせ
正	40歳以下	青年層	0.874	$Y=7.90X-9.87(X:FBMI)$	$BMI \times OI$ 3)
	男 41~60歳	壮年層	0.867	$Y=7.93X-4.15(X:FBMI)$	$BMI \times 2.5PI$ 3)
	61歳以上	老年層	0.864	$Y=8.08X-7.16(X:FBMI)$	$BMI \times 2.5PI$ 2)
	40歳以下	青年層	0.874	$Y=7.90X-9.87(X:FBMI)$	$BMI \times OI$ 3)
	女 41~60歳	女性	0.871	$Y=7.87X-5.79(X:FBMI)$	$BMI \times 2.5PI$ 3)
	61歳以上	女性	0.871	$Y=7.87X-5.79(X:FBMI)$	$BMI \times 2.5PI$ 3)
側	40歳以下	男性	0.828	$Y=5.25X+96.2(X:F1.5PI)$	$1.5PI \times WHR$ 1)
	男 41~60歳	壮年層	0.893	$Y=5.82X+80.4(X:F1.5PI)$	$1.5PI \times BMI$ 3)
	61歳以上	老年層	0.853	$Y=5.89X+84.2(X:F1.5PI)$	$1.5PI \times 0.5PI$ 6)
	40歳以下	全体	0.827	$Y=6.14X+108.6(X:F1.5PI)$	$1.5PI \times WHR$ -5SD~5SD(4)
	女 41~60歳	壮年層	0.893	$Y=5.82X+80.4(X:F1.5PI)$	$1.5PI \times BMI$ 3)
	61歳以上	老年層	0.853	$Y=5.89X+84.2(X:F1.5PI)$	$1.5PI \times 0.5PI$ 6)

その値を活用できるものと考えられる。

今後の課題として, 今回算出したFBMIとF1.5PIは, 被検者それぞれの体格を反映した値であるが, 骨密度, 脂肪質, 筋肉質などのファジィ推論ファクターを加えることで, さらにファジィ推論値と被検者の腹厚との相関係数を高くできると考える。また他のファジィ推論法を用いて, より相関率の高い方法も考案したい。

謝辞

今回の論文作成に当たり, ご指導頂いた鶴飼裕之教授(名古屋工業大学), 加藤秀起教授(藤田保健衛生大学)に深謝致します。

参 考 文 献

- [1] 岡部哲夫, 瓜谷富三:放射線診断機器工学(第2版), pp.391-406, 医歯薬出版株式会社, 東京, (2004).
- [2] 愛知県放射線技師会創立50周年記念誌;ーガラス線量計による診断領域X線装置の出力測定およびアンケート調査ー, pp.49-61, 社団法人愛知県放射線技師会, 愛知, (2001).
- [3] Amy Berrington de Gonzalez, and Sarah Darby: Risk of cancer Olom diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries, The LANCET, Vol. 363, pp.345-351, (2004).
- [4] 安信誠二: ファジィ工学, pp.20-76, 昭晃堂, 東京, (1991).
- [5] 本多中二, 大里有生: ファジィ工学入門, pp136-166, 海文堂出版, 東京, (1995).
- [6] 電気学会: あいまいとファジィーその計測と制御ー, pp.1-49, オーム社, 東京, (2001).
- [7] 萩原将文: ニューロ・ファジィ・遺伝的アルゴリズム, pp75-92, pp129-142, 産業図書, 東京, (2004).
- [8] 池田義雄, 井上修二: 肥満の臨床医学, pp.137-139, 朝倉書店, 東京, (1993).
- [9] 宮崎滋: 肥満症教室ー生活習慣病克服のためにー pp.108-191, 新興医学出版社, 東京, (2002).
- [10] 松沢祐次: 内臓脂肪型肥満ーマルチプルリスクファクター症候群としてー, pp.1-63, 医療ジャーナル社, 東京, (1995).
- [11] 上田 傑: ファジィ推論による撮影条件決定法, コニカ Xーレイ写真研究, pp.207-211, No.204, Vol.42, No.5, (1991).
- [12] 山下一也, 小川敬寿, 巢組一男, 他: 診療放射線技術大系 専門技術学系9, 日本放射線技術学会編 pp.297-304, (1986).
- [13] 池田義雄, 井上修二: 肥満の臨床医学, pp.129-133, 朝倉書店, 東京, (1993).
- [14] 池田義雄, 井上修二: 肥満の臨床医学, pp.133-138, 朝倉書店, 東京, (1993).
- [15] 松沢祐次: 内臓脂肪型肥満ーマルチプルリスクファクター症候群としてー, pp.63, 医療ジャーナル社, 東京, (1995).
- [16] 池田義雄, 井上修二: 肥満の臨床医学, pp.133-134, 朝倉書店, 東京, (1993).
- [17] 木村都, 佐藤元信, 砂田久一, 他: 医療統計学, pp122-144, 廣川書店, 東京, (2001).
- [18] 木村都, 佐藤元信, 砂田久一, 他: 医療統計学, pp.107-120, 廣川書店, 東京, (2001).

(2006年4月19日 受付)
(2007年8月26日 採録)

【問い合わせ先】

〒454-0854 名古屋市中川区松年町4-66
名古屋掖済会病院 放射線部
近藤 裕二
TEL: 052-652-7711 内線 2220
FAX: 052-652-7724
E-mail: kondouyu@ekisai.or.jp

著者紹介

こんどう ゆうじ
近藤 裕二 [正会員]

1976年名古屋大学医学部附属診療放射線技師学校卒業。診療放射線技師として名古屋掖済会病院、名古屋記念に勤務する。名古屋掖済会病院に勤務する傍ら2002年名古屋工業大学Ⅱ部電気情報工学科卒業。現在に至る。診断領域における適正線量のX線撮影についての研究に従事。

Predicting of Abdominal Thickness of Human Body Using Fuzzy Reasoning for Selecting Radiographic Factors

by
Yuji KONDO

Abstract :

In this paper, we propose the method of predicting patient's abdominal thickness required to select radiographic factors by fuzzy reasoning using triangular-type fuzzy function.

In X-ray photography of the radiation domain in medicine, radiographic factors (tube kV, tube mA, and exposure time) have big influence on contrast and granularity of X-ray photograph, and patient's abdominal thickness by the difference in a frame has big influence on the selecting radiographic factors.

There are a method of the measured abdominal thickness and a method of using Automatic Exposure Control (AEC) in selecting the method for radiographic factors by a change of patient's abdominal thickness. The method of the measured patient's abdominal thickness is not being correctly performed with the advent of the digital technology. Then, we do fuzzy reasoning from the information on the patient's frame (height, weight) of Obesity Index and Frame Index, and examine whether patient's abdominal thickness can be predicted from the correlation of the fuzzy reasoning value and the measured patient's abdominal thickness.

As the result, patient's abdominal thickness (Frontal) was well correlated with Body Mass Index ($\text{kg}/\text{m}^{2.0}$: fuzzy reasoning value) and its abdominal thickness (Lateral) was well correlated with 1.5 Power Index ($\text{kg}/\text{m}^{1.5}$: fuzzy reasoning value). We show that predicting of patient's abdominal thickness required for X-ray photography is possible by the primary regression equation.

Keywords : fuzzy reasoning, X-ray photography, abdominal thickness, Obesity Index, Frame Index

Contact Address : Yuji KONDO

Department of Radiology, Nagoya Ekisaikai Hospital
4-66 syonen-tyo, nakagawa-ku, Nagoya-shi, 454-0854, JAPAN
TEL : 052-652-7711 (2220)
FAX : 052-652-7724
E-mail : kondouyu@ekisai.or.jp