原 著

「錯視現象」が胸部CT画像の気胸の診断能に及ぼす影響
— 視覚心理学的シミュレーションによる実証 —

辺見秀一

国民健康保険福島県泉崎村立病院放射線部

論文受付
2008年 4月 3日論文受理
2008年 7月 9日Code Nos. 251
522

緒 言

明るさ知覚に関する錯視現象とは、物理的には明るさ(luminance, brightness, lightness)が同一であっても視覚心理学的には一方がより明るく(白っぽく)、他方がより暗く(黒っぽく)感じられる現象のことである。同化、対比、「枠の効果」「グループ化の法則」等が視覚心理学や色彩心理学の分野で古くから知られており、これまで数多くの研究がなされている^{1~10)}。

以前著者は、頭部CT(computed tomography)画像での脳実質写真濃度の見え方および肺野条件表示における胸部CT画像での肺実質の写真濃度の見え方で、同一写真濃度であっても白っぽく見えたり黒っぽ

く見えたりする「枠の効果」⁵⁾と呼ばれる錯視現象が生じていること、更に頭部CT画像において脳実質辺縁部に限局した低吸収を呈する血腫は、頭蓋骨の影響を受けるために脳実質と血腫との差異が強調されて見える錯視現象が生じていることを報告した^{11~14)}。

さて、気胸の画像診断には、胸部単純X線撮影および胸部CT検査がある。胸部CT検査は胸部単純X線撮影よりも気胸の有無の診断に優れており、特に気胸の原因となったブラ(bulla: 気腫性嚢胞)の有無やその場所等の情報を得るために必要とされる検査方法である。ブラが存在しない場合もあるが、気胸を呈した胸部CT画像では通常縮小した肺実質の外側に

Influence of "Optical Illusion" on the Detectability of Pneumothorax in Diagnosis for Chest CT Images: Substantiation by Visual Psychological Simulation Images

Shuichi Henmi

Department of Radiology, The National Health Insurance Izumizaki Public Hospital,
Fukushima Prefecture

Received April 3, 2008; Revision accepted July 9, 2008; Code Nos. 251, 522

Summary

Some cases have been reported in which an optical illusion of lightness perception influences the detectability in diagnosis of low-density hematoma in head CT images in addition to the visual impression of the photographic density of the brain. Therefore, in this study, the author attempted to compare the detectability in diagnosis for chest images with pneumothorax using visual subjective evaluation, and investigated the influence of optical illusion on that detectability in diagnosis. Results indicated that in the window setting of lung, on such an occasion when the low-absorption free space with pneumothorax forms a crescent or the reduced lung borders on the chest-wall, an optical illusion in which the visual impression on the difference of the film contrast between the lung and the low-absorption free space with pneumothorax was psychologically emphasized when contrast was observed. In all cases the detectability in diagnosis for original images with the white thorax and mediastinum was superior to virtual images. Further, in case of the virtual double window setting of lung, thorax, and mediastinum, under the influence of the difference in the radiological anatomy of thorax and mediastinum as a result of the grouping theories of lightness computation, an optical illusion different from the original images was observed.

Key words: chest computed tomography (CT) image, pneumothorax, contrast, optical illusion, detectability別刷資料請求先: 〒969-0101 福島県西白河郡泉崎村大字泉崎字山ヶ入56
国民健康保険福島県泉崎村立病院放射線部 辺見秀一 宛

a	b
c	d

Fig. 1 Chest CT images used for visual subjective evaluation (Cases 1-4).

- (a) Original image [A] of case 1.
 (b) Original image [A] of case 2.
 (c) Original image [A] of case 3.
 (d) Original image [A] of case 4.

低吸収を呈する気胸腔が存在する画像所見が得られる^{15, 16)}。

そこで今回、気胸を呈する胸部CT画像をサンプルに画像処理ソフトで作成した仮想画像を用いた視覚的主観評価によって診断能(気胸の見やすさ)を比較観察し、錯視現象が診断能に及ぼす影響について検討した。気胸の診断能として、ブラの見つけやすさ(検出能)および肺実質と気胸腔との差異の見え方(描出能)とが考えられるが、ここでは錯視現象の関与を明らかにするために後者の肺実質と気胸腔との差異の見え方を評価することにした。

更に、胸部CT画像を想定した視覚心理学的シミュレーションモデル(以下、シミュレーションモデル)¹⁴⁾を作成して錯視現象の関与を実証したので報告する。

1. 方法

1-1 使用機材

パーソナルコンピュータ：Macintosh Performa 5210, iMac DV (アップルコンピュータ株式会社製)

スキャナ：GT-8500ART

プリンタ：PM-G820

(以上、セイコーエプソン株式会社製)

アプリケーションソフト：Photoshop LE-J (アドビシステムズ株式会社製)

CTスキャナ：TCT-300

マルチカメラ：CTI-05A

(以上、東芝メディカルシステムズ株式会社製)

1-2 サンプル画像の作成

1) 肺野条件表示と胸郭・縦隔条件表示で作成された4種類の気胸症例の胸部CT画像をそれぞれパーソ

ナルコンピュータにスキャナを介して入力した(Fig. 1)。これらの胸部CT画像は当施設においてルーチンで使用しているスキャン条件で撮影したものであり、再構成関数は、肺野条件表示の場合にはFC-3(高分解能アルゴリズム)を、胸郭・縦隔条件表示の場合にはCT値が忠実に再現されるFC-1(通常アルゴリズム)を使用している。なお、臨床画像から個人が特定されることがないように検査年月日、個人情報(氏名、性別等)を消去し、プライバシーポリシーに配慮した。

2) 肺野条件表示の胸郭・縦隔および背景を、それぞれ白もしくは灰色に置換し、一般的に臨床で使用されているオリジナル画像に対して三つの画像を画像処理ソフトを使用して作成した。四つの画像の分類は、前報¹³⁾と同様に[A]はオリジナル画像で背景が灰色、胸郭・縦隔が白、[B]は背景が灰色で、胸郭・縦隔も灰色、[C]は背景が白で、胸郭・縦隔も白、[D]は背景が白で、胸郭・縦隔が灰色とした(Fig. 2)。

3) 再構成関数の異なる同一スライス肺野条件表示画像と胸郭・縦隔条件表示画像の二つの画像を画像処理ソフトで合成し、その画像を肺野、胸郭・縦隔同時表示仮想画像[E](以下、仮想画像[E])とした。2)および3)で作成した計五つの画像はおのおの1枚ずつ120%拡大しB5用紙に横に印刷した。

印刷の際、背景をも含めた画像全体を灰色の用紙の上に置いて比較観察している状況を想定し、画像全体を灰色の枠で取り囲んだ。画像の大きさ、灰色の枠の大きさは、それぞれ9.6×12.8cm、14.5×19.1cmである。

a	b
c	d

Fig. 2 Sample images (Case 3, [A]–[D]) used for visual subjective evaluation.
(a) Original image [A] of case 3.
(b) Virtual image (comparison image) [B] of case 3.
(c) Virtual image (comparison image) [C] of case 3.
(d) Virtual image (comparison image) [D] of case 3.

1-3 臨床画像の視覚的主観評価

医師 9 名(外科医:3, 形成外科医:4, 心臓血管外科医:1, 麻酔科医:1)で, 4 種類の症例ごとに五つの画像から 2 個ずつ任意に選択して気胸の診断能(肺実質と気胸腔との差異の見え方)を 5 段階のスコアによる視覚的主観評価で比較検討した^{17, 18)}.

評点の与え方は, 二つのサンプル[A]と[B]を比較したとき, 「[A]が明らかに[B]よりも診断しやすい(見やすい)」+2 点, 「[A]がやや[B]よりも診断しやすい(見やすい)」+1 点, 「[A]と[B]はほぼ同じ」0 点, 「[A]がやや[B]よりも診断しにくい(見づらい)」-1 点, 「[A]が明らかに[B]よりも診断しにくい(見づらい)」-2 点の 5 段階評定法を採用した。

なお, 評価は午前11時から午後2時にかけて通常の部屋の明るさにて行い, 1 回につき 1 症例までとし, 次の評価は 1 週間以上間隔を空けて行った。観察者 1 名当たり比較するのは, ${}_5C_2 \times 4$ (症例) = 40 (通り)である。観察時間および観察距離は任意としたが, 実際にはどの観察者も観察時間は10~20秒程度, 観察距離は40~50cm程度であった。

更に, その結果に対してシェッフェの一対比較法(中屋変法)^{17, 18)}を用いた統計学的検定を加えた。

1-4 サンプル画像の表示条件および画像所見

表示条件の記載にあたり, 以下, ウインド幅, ウィンドレベルはそれぞれ WW, WL と略記する。

1-4-1 症例 1 (Fig. 1a)

肺野条件(WW: 400, WL: -213),

胸郭・縦隔条件(WW: 600, WL: -5)

左胸膜腔内に血管陰影, 気管影を認めない低吸収域(気胸腔)を認め, 左肺実質は約1/4に縮小して一塊

となり, 背側の胸壁に接した形状を呈している。なお, 左肺尖部の縦隔よりの胸膜下に直径約 2cm の小さなブラが二つ指摘できる。

1-4-2 症例 2 (Fig. 1b)

肺野条件(WW: 350, WL: -206),

胸郭・縦隔条件(WW: 600, WL: 15)

左胸膜腔内に血管陰影, 気管影を認めない低吸収域(気胸腔)を認め, 左肺実質は約1/2に縮小して一塊となっている。心拍の影響のためか左側にアーチファクトが認められ, 胸膜腔内の低吸収を呈した気胸腔が一様の濃度を呈していない。

1-4-3 症例 3, 4 (Fig. 1c, Fig. 1d)

1) 症例 3; 肺野条件(WW: 400, WL: -194), 胸郭・縦隔条件(WW: 600, WL: 6)

2) 症例 4; 肺野条件(WW: 400, WL: -191), 胸郭・縦隔条件(WW: 600, WL: 6)

右胸膜腔内に血管陰影, 気管影を認めない三日月型の形状を呈した低吸収域(気胸腔)を認める。症例 3(気管分岐部レベル)のほうが, 症例 4(肺門下部レベル)に比べて三日月型の低吸収域(気胸腔)の大きさが幾分小さい形状を呈している。

1-5 シミュレーションモデルの作成

胸部CT画像(症例 1~4)のオリジナル画像[A]を想定して作成したシミュレーションモデル[A']をFig. 3に示す。白っぽい灰色が肺実質を, 黒っぽい灰色が低吸収を呈した気胸腔を, そしてその周囲を取り囲んでいるドーナツ型の白枠が胸郭・縦隔を想定している。胸部CT画像は, 肺野が左右に二つあり, その周囲を白い胸郭・縦隔で取り囲んだ形状をしており, 背景は通常スキャンエリア内(灰色)およびスキャ

a	b
c	d

Fig. 3 Visual psychological simulation images for chest CT images with pneumothorax (Cases 1–4).

- (a) Visual psychological simulation image [A']: original image [A] of case 1.
 (b) Visual psychological simulation image [A']: original image [A] of case 2.
 (c) Visual psychological simulation image [A']: original image [A] of case 3.
 (d) Visual psychological simulation image [A']: original image [A] of case 4.

ンエリア外(黒)の2種類で構成されている。今回は胸郭・縦隔の中に気胸を想定した肺野(肺実質と気胸腔)が一つの片側モデルにし、その背景にはスキャンエリア内を想定した灰色(黒っぽい灰色)を使用し、気胸腔を想定した黒っぽい灰色と同一濃度(同一明るさ)とした。以下、仮想画像[B], [C], [D]を想定したシミュレーションモデル[B'], [C'], [D']も同様に作成した。なお、仮想画像[E]のシミュレーションモデルの作成は見合わせた。

さて、頭部CT画像では白い頭蓋骨が細い白枠と認識され「枠の効果」により同化になり、脳実質写真濃度が白っぽく見えているのに対し、胸部CT画像では白い胸郭・縦隔が太い白枠と認識されるので「枠の効果」により対比になり、肺野の写真濃度は黒っぽく見えているとの報告がなされている¹¹⁻¹³⁾。そこで、胸部CT画像を想定したシミュレーションモデルでは、胸郭・縦隔を想定した白枠の幅は頭部CT画像の頭蓋骨を想定したドーナツ型の白枠の幅よりも太くした。なお、胸部CT画像の場合、頭部CT画像の頭蓋骨の幅とは異なりスライスレベルや体格の違い(肥満体型、るいそう体型)等によって胸郭の幅は多種多様であるが、今回は胸郭・縦隔を想定したドーナツ型の白枠の幅はすべての症例で1種類に統一している。

1-6 シミュレーションモデルの視覚的主観評価

オリジナル画像[A]と仮想画像[B], [C], [D]を比較した組み合わせ[A][B], [A][C], [A][D]を想定したシミュレーションモデルをそれぞれ作成し、臨床画像とともに提示して、「気胸腔を想定した黒っぽい灰色は、背景を想定した灰色と同一濃度(同一明るさ)で描写されている」ことを明かしたうえで、錯視現

象の出現(気胸腔および肺実質を想定した2種類の灰色の差異の見え方の変化)の有無を医師9名(外科医:3, 形成外科医:2, 心臓血管外科医:3, 麻酔科医:1)で評価した。

評価方法は、二つのサンプル[A']と[B']の気胸腔および肺実質を想定した2種類の灰色の見え方を比較したとき、「[A']が[B']よりも強調されて見える:[A']>[B']」+1点、「[A']と[B']の見え方はほぼ同じ:[A']≒[B']」0点、「[A']よりも[B']が強調されて見える:[A']<[B']」-1点の3段階評定法を採用した。

更に、その結果に対して一標本符号検定法による統計学的検定を加えた。

2. 結果

2-1 臨床画像の評価結果

臨床画像の視覚的主観評価によって得られた評点から、シェッフェの一対比較法(中屋変法)を用いて算出した平均嗜好度(主効果の値)、ヤードステックY(0.05), Y(0.01), およびその順位をTable 1に示す。

なお、N=9(観察者数)、

t=5(試料数:五つ)、

f=(t-1)(t-2)(N-1)/2=48(分散分析表での誤差の自由度)

に対応したq(0.05), q(0.01)の値は「スチューデント化された範囲」に関する数表¹⁸⁾にはないため、安全側をとってt=5, f=40に対応したq(0.05)=4.04, q(0.01)=4.93を使用して、ヤードステックY(0.05), Y(0.01)を求めた。

シェッフェの一対比較法(中屋変法)では、分散分析表を作成してF値(分散比)で判定することになるが、マイクロソフト株式会社製の表計算ソフトExcel

Table 1 Results of analysis of visual subjective evaluation (Part 1) .
Average of preference scale (mean of main effects) obtained by Scheffé's
method of paired comparisons (Nakaya's changing method) .

t=5, N=9

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
[A]	0.4 (1)	N.S.	0.822 (1)	0.711 (1)
[B]	-0.467 (5)	N.S.	-0.356 (4)	-0.222 (4)
[C]	-0.067 (3)	N.S.	-0.044 (2)	-0.044 (3)
[D]	-0.244 (4)	N.S.	-0.356 (4)	0.089 (2)
[E]	0.378 (2)	N.S.	-0.067 (3)	-0.533 (5)
Y (0.05)	0.435	—	0.525	0.459
Y (0.01)	0.531	—	0.641	0.56

N.S.: Not significant

Table 2 Results of analysis of visual subjective evaluation (Part 2) .
**: Significant difference at 99% confidence interval (1% significance level) .
*: Significant difference at 95% confidence interval (5% significance level) .

t=5, N=9

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
[A] [B]	[A] > [B] **	N.S.	[A] > [B] **	[A] > [B] **
[A] [C]	[A] > [C] *	N.S.	[A] > [C] **	[A] > [C] **
[A] [D]	[A] > [D] **	N.S.	[A] > [D] **	[A] > [D] **
[A] [E]	N.S.	N.S.	[A] > [E] **	[A] > [E] **
[B] [C]	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
[B] [D]	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
[B] [E]	[B] < [E] **	N.S.	N.S.	N.S.
[C] [D]	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
[C] [E]	[C] < [E] *	N.S.	N.S.	[C] > [E] *
[D] [E]	[D] < [E] **	N.S.	N.S.	[D] > [E] **

**: p<0.01 *: p<0.05 N.S.: Not significant

にある関数(FDIST)を使用すると要因の自由度, 誤差の自由度, F値の三つの値からp値が得られ, 五つの画像間の診断能に対してより具体的な判定が可能となるので, ここではp値も算出した¹⁹⁾.

次に, 分散分析の結果, 主効果の診断能に危険率5%で有意差が認められた3種類の症例(症例2以外の症例1, 3, 4)について得られた平均嗜好度とヤードステックY (0.05), Y (0.01)の値より症例ごとに95%信頼区間, 99%信頼区間を算出し, 五つの画像間の診断能に関する有意差を検定した^{17, 18)}. その結果をTable 2に示す.

2-1-1 症例 1

この症例では, 分散分析表での主効果が危険率1%で有意なので, 五つの画像間の診断能に有意差がある(p<0.001)といえる. 同時に, 嗜好度は個人による差があること(p<0.001), 組み合わせ効果はないこと(p=0.267)も分かった. 主効果から評価の最も高いのは[A], 続いて[E][C][D][B]の順となる. 有意差の認められた組み合わせは, [A][B], [A][C], [A]

[D], [B][E], [C][E], [D][E]の6通りであった.

オリジナル画像[A]は, [B], [C], [D]よりも診断能が高いものの, [E]とは診断能に有意差が認められないことになる.

2-1-2 症例 2

この症例では, 分散分析表での主効果が有意でないで, 五つの画像間の診断能に有意差は認められなかったが, 片寄りの傾向が認められた(p=0.053). 同時に, 嗜好度は個人による差があること(p=0.003), 組み合わせ効果はないこと(p=0.224)も分かった.

2-1-3 症例 3

この症例では, 分散分析表での主効果が危険率1%で有意なので, 五つの画像間の診断能に有意差がある(p<0.001)といえる. 同時に, 嗜好度は個人による差があること(p=0.016), 組み合わせ効果はないこと(p=0.923)も分かった. 主効果から評価の最も高いのは[A], 続いて[C], [E], [B]・[D]の順となる. 有意差の認められた組み合わせは, [A][B], [A][C], [A][D], [A][E]の4通りであった.

Table 3 Results of visual subjective evaluation for visual psychological simulation images. Numerical values show number of answers and probability values (p-value) obtained by the one-sample sign test.

		N=9			
		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
[A'] [B']	[A'] > [B']	7	8	9	9
	[A'] < [B']	1	0	0	0
	[A'] ÷ [B']	1	1	0	0
p		0.070	0.008**	0.004**	0.004**
[A'] [C']	[A'] > [C']	3	3	2	3
	[A'] < [C']	2	1	4	0
	[A'] ÷ [C']	4	5	3	6
p		>.999 N.S.	0.625 N.S.	0.688 N.S.	0.250 N.S.
[A'] [D']	[A'] > [D']	7	8	8	8
	[A'] < [D']	0	1	1	0
	[A'] ÷ [D']	2	0	0	1
p		0.016*	0.039*	0.039*	0.008**

** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$ N.S.: Not significant

オリジナル画像[A]は、五つの画像のなかで最も診断能が高いことになる。しかしながら、それ以外の[B], [C], [D], [E]の四者間に有意差は認められていない。

2-1-4 症例 4

この症例では、分散分析表での主効果が危険率1%で有意なので、五つの画像間の診断能に有意差がある($p < 0.001$)といえる。同時に、嗜好度は個人による差があること($p < 0.001$)、組み合わせ効果はないこと($p = 0.797$)も分かった。主効果から評価の最も高いのは[A]、続いて[D], [C], [B], [E]の順となる。有意差の認められた組み合わせは、[A][B], [A][C], [A][D], [A][E], [C][E], [D][E]の6通りであった。

オリジナル画像[A]は、五つの画像のなかで最も診断能が高いことになる。

2-2 シミュレーションモデルの評価結果

シミュレーションモデルの視覚的主観評価の結果をTable 3に示す。数値は回答者の人数および一標本符号検定法によって得られた危険率(p値)である。

危険率5%で統計学的に有意差の認められた組み合わせは、症例1の[A'] [D']、症例2の[A'] [B']、[A'] [D']、症例3の[A'] [B']、[A'] [D']、症例4の[A'] [B]、[A'] [D']の7通りである。症例1の[A'] [B']に関しても同様にばらつきの少ない傾向が認められ、これらはいずれも[A']のほうが2種類の灰色の見え方がより強調されて見える錯視現象が生じているとの結果が得られた。一方、[A'] [C']間ではすべての症

例で統計学的有意差は認められていない。

3. 考 察

3-1 オリジナル画像[A]の診断能

3-1-1 症例 1

Fig. 4は症例1の[A]と[B]、およびそのシミュレーションモデルである。この症例1では、オリジナル画像[A]の診断能(気胸の見やすさ)は、[E]とは有意差が認められていないが、[B], [C], [D]よりも優れているとの結果が得られた。シミュレーションモデルの比較でも[A'] [C']間を除いた[A'] [B']間、[A'] [D']間でともに[A']のほうが2種類の灰色の差異の見え方がより強調されて見える錯視現象が生じているとの結果が得られた。

胸郭・縦隔が白いオリジナル画像[A]では、縮小して一塊となった肺実質および低吸収を呈する気胸腔は、その周囲を取り囲む白い胸郭・縦隔の影響を受けて「枠の効果」により対比になり黒っぽく見えている。しかしながら、このとき肺実質および気胸腔はともに一律に黒っぽく見えているわけではない。

シミュレーションモデル(Fig. 4)で描写したように、オリジナル画像[A]では低吸収を呈する気胸腔(黒っぽい灰色)のほうが肺実質(白っぽい灰色)よりもドーナツ型の白枠に相当する白い胸郭・縦隔による対比が強く起こる錯視現象が出現するので、気胸腔が肺実質よりもより黒っぽく見えている。そのためにオリジナル画像[A]では気胸腔と肺実質との差異の見え方が胸郭・縦隔が灰色の[B], [D]におけるその見え方よりも強調されているものと考えられる。

a	b
c	d

Fig. 4 Chest CT images of case 1, and the visual psychological simulation images.
 (a) Original image [A] of case 1.
 (b) Virtual image [B] of case 1.
 (c) Visual psychological simulation image [A']: original image [A] of case 1.
 (d) Visual psychological simulation image [B']: virtual image [B] of case 1.

a	b
c	d

Fig. 5 Chest CT images of case 2, and the visual psychological simulation images.
 (a) Original image [A] of case 2.
 (b) Virtual image [D] of case 2.
 (c) Visual psychological simulation image [A']: original image [A] of case 2.
 (d) Visual psychological simulation image [D']: virtual image [D] of case 2.

3-1-2 症例 2

Fig. 5は症例 2 の[A]と[D], およびそのシミュレーションモデルである。この症例 2 では、観察者個々の評価のばらつきが大きく、五つの画像間に有意差は認められなかった。これに対してシミュレーションモデルの比較では[A'] [B']間, [A'] [D']間に錯視現象が生じているとの結果が得られた。

シミュレーションモデル(Fig. 5)では、症例 2 のような肺実質を想定した白っぽい灰色が胸郭・縦隔を想定したドーナツ型の白枠内のほぼ半分に縮小した場合、低吸収を呈した気胸腔を想定した黒っぽい

灰色がそのドーナツ型の白枠の影響を受けて対比になり黒っぽく見えて、肺実質を想定した白っぽい灰色との差異の見え方は、強調されているものと思われる。しかしながら、この場合、ドーナツ型の白枠による対比の強さが弱まるためか錯視量¹⁰⁾(白っぽい灰色と黒っぽい灰色との差異の見え方の度合い)が少なくなっている印象を受ける。

実際の臨床画像をサンプルにした視覚的主観評価では白い胸郭・縦隔の影響による錯視量が少なくなっているために、観察者によって見え方に個人差が生じ結果として有意差が認められなかったのでは

Fig. 6 Chest CT images of case 3, and the visual psychological simulation images.

- (a) Original image [A] of case 3.
 (b) Virtual image [B] of case 3.
 (c) Visual psychological simulation image [A']: original image [A] of case 3.
 (d) Visual psychological simulation image [B']: virtual image [B] of case 3.

ろう。また、この臨床画像では低吸収を呈する気胸腔から肺実質の境界部にかけて画像にアーチファクトが生じており、その内部は均一の写真濃度を呈していないこと、そして仮想画像([B]~[E])の肺野と縦隔との境界部に画像処理の結果、白い部分が存在していることも錯視量を少なくした一因であると考えられる。

この症例2のように肺実質と低吸収を呈する気胸腔とが半々程度になり、なおかつ画像にアーチファクトが生じているような場合、シミュレーションモデルの見え方とは異なって肺実質と低吸収を呈した気胸腔との差異の見え方に錯視現象の関与した確固たる変化は認識されにくくなるといえる。ただし、症例1のように肺実質が約1/4程度にまで縮小した場合でも錯視現象が認められることから、白い胸郭・縦隔の影響によって起きる錯視量(気胸腔と肺実質との差異の見え方の度合い)は気胸腔と縮小した肺実質の胸膜腔内に占める大きさの比率のみならずその図柄にも依存しているものと思われる。一般の錯視図形のように錯視現象が生じやすい図柄とそうでない図柄とが気胸を呈する胸部CT画像においても存在するのである。

3-1-3 症例3, 4

Fig. 6は症例3の[A]と[B]、およびそのシミュレーションモデルである。症例3, 4では、オリジナル画像[A]の診断能(気胸の見やすさ)は、五つの画像のなかで最も優れているとの結果が得られた。シミュレーションモデルの比較でも[A'] [B']間、[A'] [D']間に錯視現象が生じているとの結果が得られている。

シミュレーションモデル(Fig. 6)では、症例3のように低吸収を呈した気胸腔を想定した黒っぽい灰色が小さな三日月型を呈している場合には、胸郭・縦隔を想定したドーナツ型の白枠の影響を受けて対比になり、黒っぽい灰色がより黒っぽく見える錯視現象が出現し、結果として気胸腔を想定した黒っぽい灰色と肺実質を想定した白っぽい灰色との差異の見え方が強調されているものと考えられる。更に、症例4のように三日月型を呈した黒っぽい灰色の大きさを症例3のものより少し大きくした場合にも、依然として錯視現象が出現し黒っぽい灰色と白っぽい灰色との差異の見え方が強調されていることがシミュレーションモデルで確認できる(Fig. 3)。

実際の臨床画像(症例3, 4)でもオリジナル画像[A]では白い胸郭・縦隔の影響を受けて三日月型の低吸収を呈する気胸腔および肺実質の両者がともに対比になり黒っぽく見えているが、その対比の強さが症例1と同様に気胸腔および肺実質の両者で異なり、黒っぽい灰色である気胸腔が白っぽい灰色である肺実質よりもより強く対比が起こる錯視現象が出現するために、胸郭・縦隔が灰色の[B], [D]よりも両者の差異の見え方が強調されるものと思われる。このことから、三日月型の低吸収を呈する気胸腔を有した症例3, 4は錯視現象が生じやすい図柄であるといえる。

3-2 仮想画像[E]の診断能

症例1では肺野と胸郭・縦隔とを同時に表示した仮想画像[E]の診断能(気胸の見やすさ)は、[A] [E]

Fig. 7 Comparison of virtual image [E] between case 1 and case 4 for chest CT images in the case of virtual double window setting of lung, thorax, and mediastinum.

(a) Virtual image [E] of case 1.

(b) Virtual image [E] of case 4.

間に有意差は認められていないが、五つの画像のなかでオリジナル画像[A]の次に優れているとの結果が得られた。

この症例 1 の仮想画像[E]は、胸郭内を構成している筋肉の割合が多く肩甲骨周辺部の筋肉と合わせて全体的に胸郭・縦隔の部分が白っぽい印象を受ける。このとき「グループ化の法則」^{3, 13)}によって低吸収を呈する気胸腔は、肺実質と胸郭・縦隔の両者の影響を受けてそれぞれ対比となり、気胸腔と肺実質との差異の見え方が胸郭・縦隔が白いオリジナル画像[A]と同様に強調されていると考えられる (Fig. 7)。

一方、三日月型の低吸収を呈した気胸腔を有する症例 3 では仮想画像[E]の診断能(気胸の見やすさ)は、オリジナル画像[A]よりも劣るとの結果が得られたが、その他の[B], [C], [D]の三つの画像との間には有意差は認められていない。これに対し、同じく三日月型の低吸収を呈した気胸腔を有する症例 4 では仮想画像[E]の診断能(気胸の見やすさ)は、[B][E]間に有意差は認められていないが、五つの画像のなかで最も評価が低く、オリジナル画像[A]よりも明らかに劣るとの結果が得られた。

この症例 4 の仮想画像[E]は、特に前胸部で脂肪の割合が多く全体的に胸郭・縦隔の部分がやや黒っぽい印象を受ける。このとき「グループ化の法則」によって低吸収を呈する気胸腔は、症例 1 と同様に肺実質と胸郭・縦隔の両者の影響を受けるわけであるが、この場合には気胸腔と肺実質の差異の見え方が強調されずに、逆に打ち消されていると考えられる (Fig. 7)。

このことから、肺野と胸郭・縦隔とを合成表示することによって、胸郭・縦隔が白いオリジナル画像[A]とはまた違った錯視現象が現れるために、オリジナル画像よりもかえって気胸の診断能(気胸の見やすさ：肺実質と気胸腔との差異の見え方)が悪くなってしま

う場合があるといえる。肺実質(白っぽい灰色)と気胸腔(黒っぽい灰色)を取り囲んだ胸郭・縦隔のX線解剖学的な構成が筋肉の割合が多くやや白っぽく見える場合と、逆に脂肪の割合が多くやや黒っぽく見える場合とでは、肺実質と気胸腔の差異の見え方が異なり、前者では強調されるのに対し、後者では打ち消されるので、画像を合成する際には錯視現象の出現を考慮すべきであろう。

3-3 胸部CT画像における背景の視覚心理学的影響

Fig. 8は症例 4 の[A]と[C]、およびそのシミュレーションモデルである。[A][C]間の比較、すなわち胸郭・縦隔が白い画像どうしの比較では、症例 2 以外の 3 種類の症例で「オリジナル画像[A]の診断能(気胸の見やすさ)は、[C]よりも優れている」に有意差が認められた。[A]と[C]の両者の違いは背景の色のみであり、[A]の背景が灰色で、[C]の背景が白である。これに対してシミュレーションモデルの比較では、すべての症例で[A'] [C']間に錯視現象は認められなかった。

症例 4 のシミュレーションモデル (Fig. 8) でも、胸郭・縦隔を想定したドーナツ型の白枠によって肺実質を想定した白っぽい灰色と低吸収を呈する気胸腔を想定した黒っぽい灰色との差異の見え方が[A']と[C']の両者で同様に強調されているためか、両者を比較してもその見え方にほとんど違いは見受けられないようである。

しかしながら、実際の臨床画像では[A][C]間に有意差が認められていることから、推測の域を出ないが、胸郭・縦隔が白い画像どうしの比較では、胸郭・縦隔に加えて背景までもが白い[C]は肺野の読影には適さないとする錯視現象の関与とは異なる観察者の画像に対する主観が介入している可能性が考えられ、このような結果が得られたものと思われる。

Fig. 8 Chest CT images of case 4, and the visual psychological simulation images.
 (a) Original image [A] of case 4.
 (b) Virtual image [C] of case 4.
 (c) Visual psychological simulation image [A']: original image [A] of case 4.
 (d) Visual psychological simulation image [C']: virtual image [C] of case 4.

4. 結 語

- 1) 肺野条件表示の胸部CT画像において低吸収を呈する気胸腔が三日月型の形状をした場合および肺実質が縮小して胸壁に接した場合では、気胸の見やすさ(肺実質と気胸腔との差異の見え方)が白い胸郭・縦隔の影響で強調される錯視現象が認められ、いずれも胸郭・縦隔が白いオリジナル画像の診断能が優れているとの結果が得られた。
- 2) 肺野と胸郭・縦隔とを同時に表示した胸部CT仮想画像では、肺野を取り囲んだ胸郭・縦隔のX線解剖学的な構成の違いを受けるために「グループ化の法則」によって肺実質と気胸腔との差異が強調される場合と逆に打ち消される場合とがあり、胸郭・縦隔が白いオリジナル画像とは異なった錯視現象の現れ方が認められた。
- 3) 胸部CT画像において白い胸郭・縦隔の影響で起きる錯視量(肺実質と気胸腔との差異の見え方の度合い)は、気胸腔と肺実質の胸膜腔内に占める大きさの比率のみならずその図柄にも依存していることが、胸部CT画像を想定したシミュレーションモデルによって実証することができた。

5. 今後の検討課題

自然気胸に対する胸腔鏡手術前には、胸腔鏡では縦隔側に存在するブラが死角となりやすいので、胸部CT検査で縦隔側のブラの有無や局在を確認しておく必要があるとの報告がなされている¹⁶⁾。今回、サンプル画像として使用した4種類の胸部CT画像のなかでブラが認められているのは症例1のみであり、肺実質と低吸収を呈する気胸腔との差異の見え方を主に評価したに過ぎず、ブラの検出能(ブラの見つけやすさ)を評価するには至っていない。

また、本論文では肺実質と気胸腔との差異の見え方について、胸部CT画像およびシミュレーションモデルの視覚的主観評価の双方の結果から、錯視現象の関与を明らかにしたわけであるが、観察者の画像に対する主観の影響を完全に排除した評価にはなっていないものと思われる。

ブラの検出能および観察者の主観の影響を排除した評価については錯視量の定量化とともに今後の検討課題としたい。

なお、本論文の一部は、日本放射線技術学会第64回総会学術大会(平成20年4月、横浜)において発表した。

参考文献

- 1) ジョン・P. フリスビー 著, 村山久美子 訳, シーイング 錯視-脳と心のメカニズム, 東京: 誠信書房, 1994.
- 2) リチャード・L. グレゴリー 著, 近藤倫明, 中溝幸夫, 三浦佳世 訳, 脳と視覚-グレゴリーの視覚心理学, プレーン出版, 東京, 2001: 109-126, 251-313.
- 3) ドナルド・D. ホフマン 著, 原 淳子, 望月弘子 訳, 視覚の文法 脳が物を見る法則, 紀伊國屋書店, 東京, 2003: 71-112, 145-184.
- 4) 金子隆芳, 色彩の科学, 岩波書店, 東京, 1988: 158-159.
- 5) 金子隆芳, 色彩の心理学, 岩波書店, 東京, 1990: 17-32, 49-56, 93-108.
- 6) 小町谷朝生, 小町谷尚子, キュクロプスの窓-色と形はどう見えるか, 日本出版サービス, 東京, 1996: 121-149.
- 7) 松田隆夫, 視知覚, 培風館, 東京, 1998: 43-135, 195-248.
- 8) 大山 正, 視覚心理学への招待-見えの世界へのアプローチ, サイエンス社, 東京, 2000: 31-50, 117-146.
- 9) 雨宮政次, 色の錯覚 同化による視覚効果, 六耀社, 東京, 2001: 7-82.
- 10) 北岡明佳, だまされる視覚 錯視の楽しみ方, 京都: 化学同人, 2007.
- 11) 辺見秀一, 頭部CT画像における「枠の効果」の検証-頭部CT画像の脳実質写真濃度についての心理学的検討, 日放技学誌 2000; 56(7): 946-952.
- 12) 辺見秀一, 頭部CT画像の脳実質写真濃度に関する視覚的印象-視覚的主観評価による錯視現象の検証, 日放技学誌 2002; 58(10): 1383-1392.
- 13) 辺見秀一, 胸部CT画像の肺野および胸郭・縦隔の写真濃度に関する視覚的印象-視覚的主観評価による錯視現象の検証, 日放技学誌 2004; 60(7): 983-992.
- 14) 辺見秀一, 「錯視現象」が頭部CT画像の診断能に及ぼす影響-明るさ知覚に関する錯視現象の画像診断への関与, 日放技学誌 2006; 62(7): 979-989.
- 15) 中村 實 監修, 診療画像検査法 X線撮影法, 医療科学社, 東京, 1998: 525.
- 16) 青木隆敏, 花宮 舞, 興相征典, 肺, 特集 体腔鏡手術に必要な画像診断, 臨床放射線 2005; 50(6): 713-719.
- 17) 中前光弘, 田畑洋二, 大賀泰文, 他, Schefféの対比較法による主観の評価法, 日放技学誌 1996; 52(11): 1561-1565.
- 18) 佐藤 信, 統計的官能検査法, 日科技連出版社, 東京, 1998: 231-270.
- 19) 菅 民郎, Excelで学ぶ実験計画法 シックスシグマと重回帰分析, 東京: オーム社, 2002.

図表の説明

- Fig. 1 視覚的主観評価に使用した胸部CT画像(症例1~4)
(a)症例1のオリジナル画像[A], (b)症例2のオリジナル画像[A], (c)症例3のオリジナル画像[A], (d)症例4のオリジナル画像[A]
- Fig. 2 視覚的主観評価に使用したオリジナル画像および仮想画像(症例3: [A]~[D])
(a)症例3の[A]: オリジナル画像, (b)症例3の[B]: 仮想画像(比較対照画像), (c)症例3の[C]: 仮想画像(比較対照画像), (d)症例3の[D]: 仮想画像(比較対照画像)
- Fig. 3 気胸を呈した胸部CT画像の視覚心理学的シミュレーションモデル(症例1~4)
(a)症例1のオリジナル画像[A]の視覚心理学的想定画像[A'], (b)症例2のオリジナル画像[A]の視覚心理学的想定画像[A'], (c)症例3のオリジナル画像[A]の視覚心理学的想定画像[A'], (d)症例4のオリジナル画像[A]の視覚心理学的想定画像[A']
- Fig. 4 症例1における胸部CT画像とその視覚心理学的シミュレーションモデル
(a)オリジナル画像[A], (b)仮想画像[B], (c)オリジナル画像[A]の視覚心理学的想定画像[A'], (d)仮想画像[B]の視覚心理学的想定画像[B']
- Fig. 5 症例2における胸部CT画像とその視覚心理学的シミュレーションモデル
(a)オリジナル画像[A], (b)仮想画像[D], (c)オリジナル画像[A]の視覚心理学的想定画像[A'], (d)仮想画像[D]の視覚心理学的想定画像[D']
- Fig. 6 症例3における胸部CT画像とその視覚心理学的シミュレーションモデル
(a)オリジナル画像[A], (b)仮想画像[B], (c)オリジナル画像[A]の視覚心理学的想定画像[A'], (d)仮想画像[B]の視覚心理学的想定画像[B']
- Fig. 7 症例1と症例4における胸部CT仮想画像[E]の比較
(a)症例1の仮想画像[E], (b)症例4の仮想画像[E]
- Fig. 8 症例4における胸部CT画像とその視覚心理学的シミュレーションモデル
(a)オリジナル画像[A], (b)仮想画像[C], (c)オリジナル画像[A]の視覚心理学的想定画像[A'], (d)仮想画像[C]の視覚心理学的想定画像[C']
- Table 1 視覚的主観評価の結果(1)
シェッフェの対比較法(中屋変法)によって算出した平均嗜好度(主効果の平均値)およびその順位
- Table 2 視覚的主観評価の結果(2)
99%信頼区間, 95%信頼区間を用いて算出した五つの画像間の診断能に関する統計学的有意差
**は99%信頼区間(1%有意差), *は95%信頼区間(5%有意差), N.S.は有意差なしを示す.
- Table 3 シミュレーションモデルの視覚的主観評価の結果
なお, 数値は回答者の人数および一標本符号検定法によって得られた危険率(p値)である.