

X線 computed tomography による眼窩容積の計測

—特に眼窩の発育—

古田 実

福島県立医科大学眼科学教室

要 約

目的：X線 computed tomography (CT) の連続冠状断再構成画像を用いて、主に眼窩容積の発育について検討した。

方法：少なくとも片側眼窩は健常であった109例(男性74例, 女性35例)を対象とし、眼窩容積計測の再現性、容積の個体における左右差および年齢・性別・身長・体重および外側眼窩縁間距離との相関を検討した。

結果と結論：同一症例2回の計測による差は約0.4%であり、再現性は良好であった。左右差は平均 0.06 cm^3 であり、無視できる範囲内であった。また、左右差は年齢との間に一定の傾向を示さなかった。眼窩容積は、身長と

外側眼窩縁間距離に強い相関があった。一方、年齢については12歳未満では性差がなく、年齢との間にも相関が強かった。眼窩容積が急速に発育するのは、男性で15歳、女性で11歳までと推測され、この際の眼窩容積は成人の95%以上に達した。本計測による日本人成人の平均眼窩容積は、男性は 23.6 ± 2.0 (平均値 \pm 標準偏差) cm^3 、女性は $20.9 \pm 1.3\text{ cm}^3$ であった。(日眼会誌 104 : 724—730, 2000)

キーワード：眼窩容積, 計測, 発育, ヘリカル CT

Measurement of Orbital Volume by Computed Tomography

— Especially on the Growth of Orbit —

Minoru Furuta

Department of Ophthalmology, Fukushima Medical University, School of Medicine

Abstract

Purpose : Using reconstructed X-ray computed tomography (CT) images of serial coronal sections, we measured the orbital volume and studied its changes with age.

Methods : The subjects consisted of 109 patients (74 males, 35 females) who had undergone X-ray CT. After the reproducibility of orbital volume measurements and laterality in individuals were confirmed, the relation between the orbital volume and the age, sex, weight, and interlateral orbital rim distance were examined.

Results and Conclusion : The difference between two measurements in the same patients was 0.4% for measured volume, which showed the reproducibility of this measurement to be good. The laterality in individuals was 0.06 cm^3 ; this difference was very small and not significant. The orbital volume showed no unbalance between the right and left at any stage

of growth. Both the height and the interlateral orbital rim distance had a strong correlation with the orbital volume. Referring to the relation between age and orbital volume, a strong correlation with an almost identical approximate equation was obtained for both sexes under 12 years of age. Presumably, the rapid growth of the orbit comes to an end by 15 years of age in males and 11 years in females. This means that more than 95% growth of adults has already been completed in the first half of the teens. The mean orbital volume in adult Japanese is 23.6 ± 2.0 (mean \pm standard deviation) cm^3 in males and $20.9 \pm 1.3\text{ cm}^3$ in females. (J Jpn Ophthalmol Soc 104 : 724—730, 2000)

Key words : Orbital volume, Measurement, Growth, Helical computed tomography

I 緒 言

ある限られた容積を持つ眼窩腔内の組織の容量の変化

は眼球突出や眼球陥凹を来す反面、眼窩腔の形状や大きさの変化、すなわち、眼窩容積の拡大や縮小もまたそれらを惹き起こす^{1)~3)}。この眼窩容積について、大野⁴⁾は日本

別刷請求先：960-1295 福島市光が丘1 福島県立医科大学眼科学教室 古田 実

(平成11年12月6日受付, 平成12年3月31日改訂受理)

Reprint requests to: Minoru Furuta, M.D. Department of Ophthalmology, Fukushima Medical University, School of Medicine, 1 Hikarigaoka, Fukushima 960-1295, Japan

(Received December 6, 1999 and accepted in revised form March 31, 2000)

人の解剖学的実測値による検討を行い、性別と右左別を男性で各々 26.0 cm³・25.9 cm³、女性で 23.1 cm³・23.2 cm³と報告している。また、海外では臨床的には 25~30 cm³という数字が広く受け入れられているように、眼窩容積は人種・性別によって異なることが知られている⁵⁾。

X線 computed tomography (CT)を用いた眼窩容積の計測の試みは以前からなされてきたが、これらの検討が臨床に普及するには至っていない^{1)6)~9)}。さらに、眼窩容積の発育に関する検討は皆無であり、一次元的計測方法として生体の実測、X線写真やX線CTが代用されていたに過ぎず、臨床応用が可能な眼窩容積の計測方法と基礎的データの検討が待たれていた^{10)~13)}。しかし、近年のX線CTの性能向上により臨床例での眼窩容積の計測が容易、かつ正確に行える可能性が出てきた。さらに、CTによる眼窩腔の三次元的検討が臨床レベルで可能となったことで、眼窩腔の形状に変化を来す疾患に対するより質の高い治療への期待ももたれている。例えば、眼窩壁骨折に伴う眼窩容積の拡大を計測することで、今後起こり得る眼球陥凹を早い段階で予測し、早期手術を目指すことや、甲状腺眼症による眼球突出に対して眼窩の容積の拡大(眼窩減圧術)を定量的に行うなどである¹⁴⁾¹⁵⁾。

今回、X線CTの連続冠状断再構成画像を用いて眼窩容積を計測し、年齢との関係を検討した。その結果、この方法により安定した眼窩容積の計測が可能であることが明らかになるとともに、眼窩容積の年齢との関係を眼科臨床において得られやすいパラメータとの比較で検討したところ、有用な知見が得られたので報告する。

II 実験方法

1. 対象

主に外傷を理由に眼窩部のX線CTを撮影し、少なくとも片側眼窩は健常であった109例(男性74例、女性35例)の129撮影を対象とした。乳幼児に関しては、外傷例

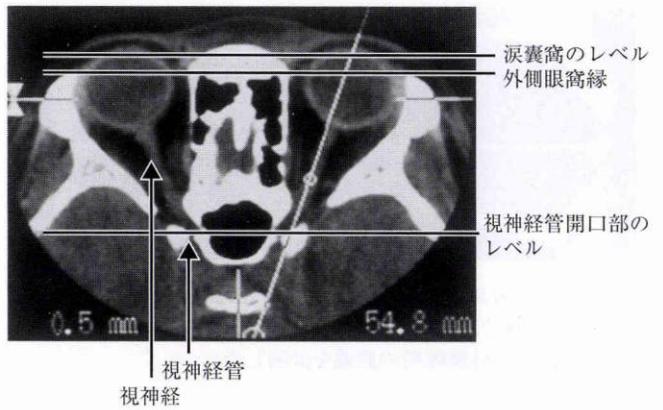


図1 水平断 computed tomography (CT)画像の角度調整。

視神経管と視神経が全走行にわたって観察できる角度にCTコンソール上で調整した。また、外側眼窩縁の高さが同一になるよう、左右の角度も調整した。計測には、図中の涙嚢窩のレベルから視神経管開口部までの範囲の連続冠状断画像を用いた。

が少なく例数が不足するため、片眼の網膜芽細胞腫例など健側眼窩の発育に影響しないと思われる症例も検討に加えた。109例中20例は眼窩壁骨折の手術前後に約2週間の間隔をあけて2回撮影されたものである。109例の年齢の範囲は0.2~66.8歳で、平均年齢は22.9歳である。

2. 眼窩容積の計測方法

撮影に使用したCTの機種は、ヘリカルスキャン技術¹⁶⁾を利用した東芝社製X-Vigor全身用CTスキャナーである。撮影条件は寝台移動1.0 mm/X線管1回転、60秒間撮影、管電圧135 kV、管電流100~200 mAsである。

CTコンソール上で画像再構成ソフトX-linkを用いてCT画像データから、視神経管と視神経の全走行が1枚の水平断で観察できるように画像角度を調整し(図1)、2 mm スライスの連続冠状断画像を再構成した。この画像を、画像計測ソフト NIH image (National Institutes

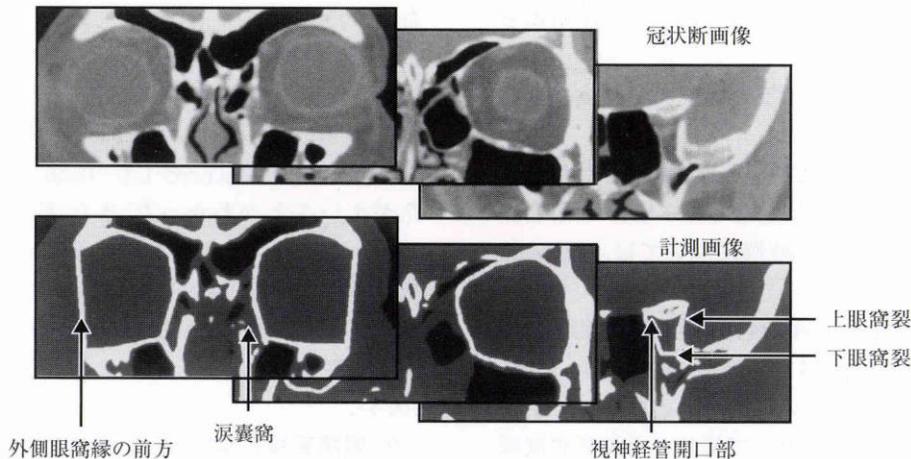


図2 NIH imageを用いたパーソナルコンピュータ画面上でのトレース。

2 mm 間隔の冠状断画像を用いて計測した。外側眼窩縁の前方・涙嚢窩・上眼窩および下眼窩裂は骨で囲まれないため、直線でトレースした。トレース作業には、ペン入力タブレットを用いた。

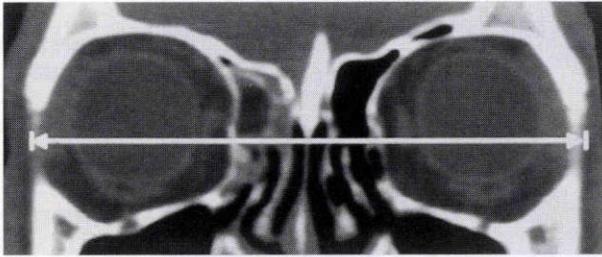


図3 外側眼窩縁間距離の計測方法.

冠状断面画像を前方から順にみて,外側眼窩縁が描出される所で,骨の外側縁間の距離を計測した.

of Health,米国)を用いてパーソナルコンピュータ(Power Macintosh)画面上で骨性眼窩をトレースした.トレースする際,window level 40,window width 400程度の眼窩内組織が判別しやすい条件で行った.本検討における眼窩の計測は,前方は後涙嚢稜が描出される1枚前方の断面(涙嚢窩)から,後方は視神経管開口部まで行ったが,骨による境界のない部位である涙嚢窩,外側眼窩縁よりも前方や上眼窩裂,下眼窩裂の部分は,主観を排除するために直線でトレースした(図2).各スライスでの眼窩の断面積を求め,加算し眼窩容積を算出した.また,画像の計測はすべて一人の検者が行った.

得られたデータは,表計算統計ソフトであるMicrosoft社 Excel 98 および Abacus Concepts 社 Stat ViewJ-4.5 を用いて処理した.

3. 検討内容

1) 眼窩容積の計測の再現性および個体における左右差

109例のうち,片側眼窩壁骨折の手術前後に2回のCT撮影をした20例(骨折群は男性14例,女性6例,年齢の範囲18.2~64.2歳,平均年齢33歳)で計測の再現性の検討をするため,健側眼窩容積を術前と術後で比較した.また,眼窩に損傷のない眼部外傷26例(健常群は男性17例,女性9例,年齢の範囲0.6~66.8歳,平均年齢25.1歳)で両側の眼窩容積を比較して個体における左右差を検討した.

2) 眼窩容積と年齢・性別・身長・体重・外側眼窩縁間距離の検討

109例の109撮影について検討した.計測した眼窩は健常側であるが,両眼窩ともに健常である場合には,右側の値を採用し,2回測定した20例については,術後の値を採用した.

眼窩容積と身長および外側眼窩縁間距離との相関,109例中で20歳以上40歳未満の男性18例については,body mass index (BMI)を用いた肥満との関係についても検討を行った.パラメータとして採用した外側眼窩縁間距離とは,Hertel 眼球突出度計で眼球突出度を計測する際に指標となる値であり,これを想定してCT上で計測した(図3に外側眼窩縁間距離の計測方法を示す).一

表1 手術前後および個体の左右での眼窩容積の比較

	例数	平均	標準偏差	最小値	最大値
術前眼窩容積	20	23.84	0.52	19.6	27.3
術後眼窩容積	20	23.75	0.54	19.6	27.5
術前-術後	20	0.09	0.69		
					p=0.56
右眼窩容積	26	21.13	3.96	12.1	26.8
左眼窩容積	26	21.07	4.03	12.0	27.9
右-左	26	0.06	0.56		
					p=0.58

単位: cm³ paired-t test

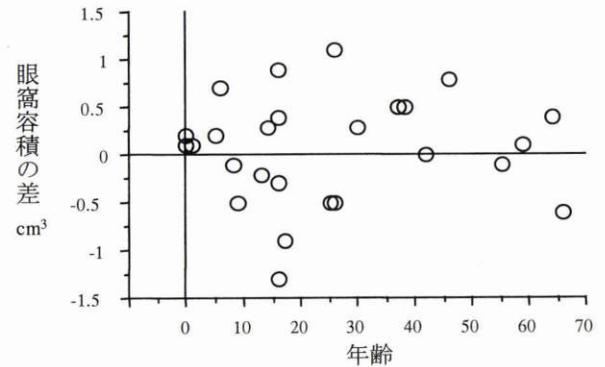


図4 左右の眼窩容積の差と年齢分布.

右眼窩容積から左眼窩容積を減じた値と,年齢との関わりを検討したが,特に傾向はなかった.

方,BMIは体重kg/(身長m)²で求められる値で,日本肥満学会による肥満の判定基準によると,男性,女性ともに20歳以上BMI=22を標準とし,±10%を普通としている.また,眼窩容積と年齢との関係を検討する際には,容積の測定に用いた冠状断面画像の枚数(以下,スライス数)も項目として加えたが,これは眼窩の奥行きを表すパラメータである.

III 結果

1. 眼窩容積の計測値の再現性および個体における左右差

表1に骨折群の術前・術後の健側の眼窩容積,および健常群の両側の眼窩容積と計測結果を示す.骨折群での2回の計測による差は 0.09 ± 0.69 (平均値 \pm 標準偏差)cm³で有意差はなく(paired-t,p=0.56),本測定による再現性がよいことがわかった.また,健常群での左右差は 0.06 ± 0.56 cm³で有意差はなく(unpaired-t,p=0.58),差は極めて小さいものであった.また,左右差は年齢との間にも一定の傾向を示さず,成長の段階においても左右の眼窩容積の不均衡を示すことはないことがわかった(図4).

2. 眼窩容積と年齢・性別・身長・体重・外側眼窩縁間距離の検討

身長と眼窩容積の関係を図5に,外側眼窩縁間距離と眼窩容積の関係を図6に示した.両パラメータともに図

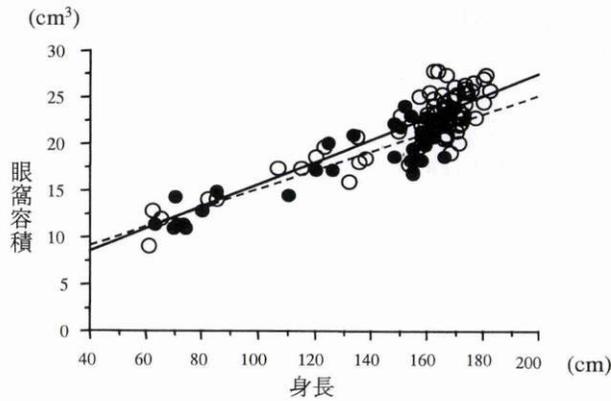


図 5 身長と眼窩容積.

群別回帰式

男性：眼窩容積 $\text{cm}^3 = 3.76 + 0.12 \times \text{身長 cm}$ ；相関係数 0.86 ($p < 0.0001$)

女性：眼窩容積 $\text{cm}^3 = 5.04 + 0.10 \times \text{身長 cm}$ ；相関係数 0.89 ($p < 0.0001$)

○：男，●：女

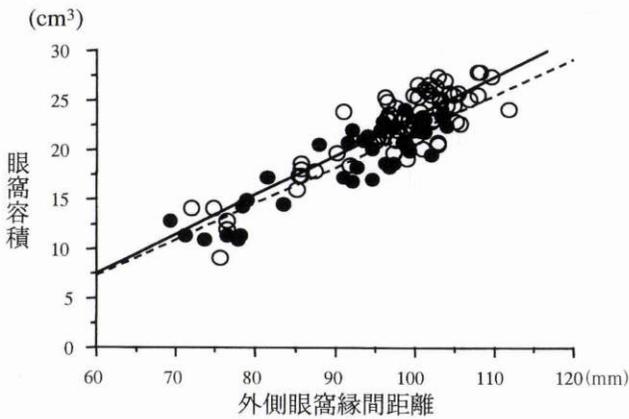


図 6 外側眼窩縁間距離と眼窩容積.

群別回帰式

男性：眼窩容積 $\text{cm}^3 = -16.51 + 0.40 \times \text{外側眼窩縁間距離 mm}$ ；相関係数 0.87 ($p < 0.0001$)

女性：眼窩容積 $\text{cm}^3 = -14.59 + 0.37 \times \text{外側眼窩縁間距離 mm}$ ；相関係数 0.89 ($p < 0.0001$)

表 2 眼窩容積と肥満

	例数	眼窩容積 (cm^3)	
		平均値	標準偏差
過体重～肥満 ($24.5 < \text{BMI}$)	7	24.33	2.15
やせ～普通 ($\text{BMI} \leq 24.5$)	11	23.65	1.96

BMI : body mass index unpaired-t test $p = 0.50$

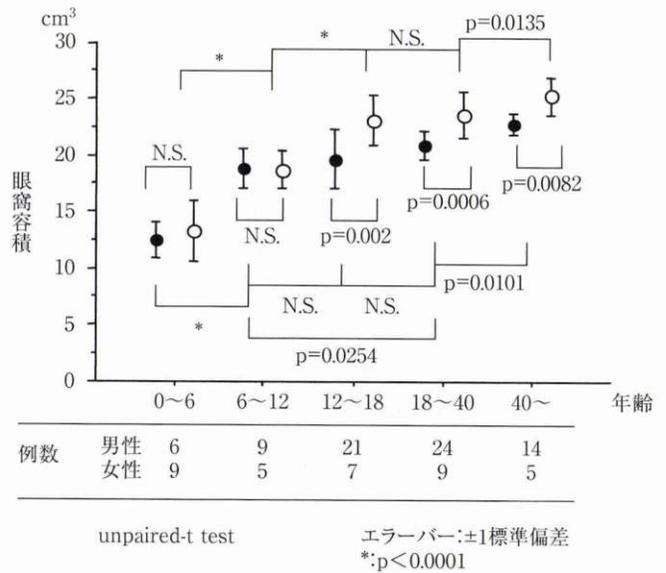


図 7 年齢と眼窩容積 (階級別).

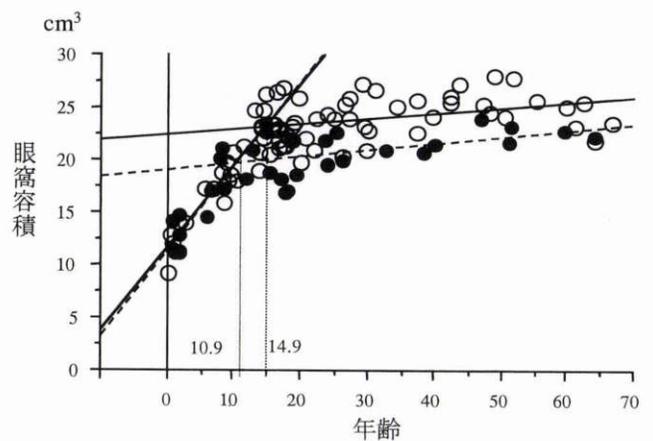


図 8 12 歳前後での年齢と眼窩容積の相関.

群別回帰式

男子, 12 歳未満：眼窩容積 $\text{cm}^3 = 11.67 + 0.77 \times \text{年齢}$ ；相関係数 0.92 ($p < 0.0001$)

男子, 12 歳以上：眼窩容積 $\text{cm}^3 = 22.45 + 0.05 \times \text{年齢}$ ；相関係数 0.50 ($p = 0.0205$)

女子, 12 歳未満：眼窩容積 $\text{cm}^3 = 11.35 + 0.80 \times \text{年齢}$ ；相関係数 0.92 ($p < 0.0001$)

女子, 12 歳以上：眼窩容積 $\text{cm}^3 = 19.04 + 0.06 \times \text{年齢}$ ；相関係数 0.36 ($p = 0.0053$)

のような回帰直線で示され、眼窩容積との間に相関係数 0.86～0.89 と強い相関があった。このことから、身長と眼窩外側縁間距離により眼窩容積が一元的に推測され得る可能性が推定された。肥満と眼窩容積の関連については、BMI 値 24.2 より大きな群と小さい群に分類し、男性の 20 歳以上 40 歳未満の 18 例を検討した。その結果、肥満は眼窩容積に有意差を来さなかった(表 2)。

次に、年齢と眼窩容積を階級別に検討した(図 7)。その結果、男性は 12 歳以上 18 歳未満の群(以下、12～18 歳群のように表記する)まで有意に発育し、女性は 6～12 歳群まで有意に発育した。性差は 12～18 歳群以降明らかとなった。6～12 歳群までは、性差なく眼窩容積は急速に増加するので、12 歳未満と 12 歳以上の群に分けて年齢と

表3 18歳以上40歳未満の群と40歳以上の群における男女別眼窩容積・身長・外側眼窩縁間距離・スライス数の比較

		18歳以上40歳未満	40歳以上	
眼窩容積 (cm ³)	男	23.64±2.02	25.32±1.74	p=0.0135
	女	20.89±1.28	22.86±0.88	p=0.0101
身長 (cm)	男	170.4±6.0	164.3±6.9	p=0.0072
	女	159.0±5.4	152.5±4.3	p=0.0402
外側眼窩縁間距離 (mm)	男	100.88±3.60	103.89±4.41	p=0.0282
	女	96.61±4.99	99.35±2.29	N.S.
スライス数 (枚)	男	20.1±1.0	21.0±0.8	p=0.0077
	女	19.7±1.1	20.4±0.9	N.S.
		平均値±標準偏差		unpaired-t test

眼窩容積の相関を求めたところ、男性、女性ともほぼ同一の発育を示し、強い相関があった(図8)。本検討における12歳未満の年齢と身長・外側眼窩縁間距離の相関係数を算出したところ、各々0.99および0.90と非常に強く、この間の眼窩容積を推測する際には、年齢・身長・外眼角間距離のどのパラメータを用いても比較的信頼性の高い値が得られる。また、12歳以降も弱い相関傾向を示し、眼窩容積が年齢とともに徐々に増加する傾向を示した。12歳未満の近似式と12歳以降の近似式の交点から、急速な眼窩の発育が終了するのは、男性で14.9歳、女性で10.9歳までであることが推測され、このときの各々の眼窩容積は23.2 cm³ および20.1 cm³であった。

しかしながら、男性、女性ともに成長が停止したと考えられる18~40歳以降もさらに年齢とともに眼窩容積は拡大した。この点をさらに検討するために18~40歳群および40歳以上の2群について身長・外側眼窩縁間距離およびスライス数を比較した。身長は男性、女性ともに40歳以上の群で有意に低身長であった。また、外側眼窩縁間距離とスライス数は男性においてのみ有意に増加し、女性では増加傾向はあるものの有意差はなかった(表3)。

IV 考 按

CT画像を用いて眼窩容積を検討した報告は、1980年代半ばから散見され、得られるデータの診断的および治療的有用性がある。しかし、報告の大部分は眼窩壁骨折や甲状腺眼症などの患眼についてのものであり、健常な眼窩についての検討は少ない⁶⁾。CT画像の断面を用いた眼窩容積の計測は、水平断・冠状断・矢状断など用いる断面の種類によって眼窩の前方をどこまで測るかが異なるため、異なる断面を用いて計測したデータ間の比較は困難である。現在までの報告は水平断画像による検討が多く¹⁾⁶⁾⁷⁾、冠状断画像を用いた検討は少ない⁸⁾⁹⁾。しかし、眼窩容積の計測をより正確にするためには、疾患の種類によらず眼窩の形状の観察が容易である断面を用いることや、疾患の病態を眼窩容積に反映させるため、なるべく前方まで計測する必要がある。特に前者に対しては、冠状断画像を用いることが適していると考えられ、今回は連続

冠状断画像を用いて、涙嚢窩から視神経管開口部までの骨性眼窩を計測した。しかし、本検討のように涙嚢窩から計測する場合、外側眼窩縁より前方の骨がない部位を主観が入らないようにトレースする必要があり、今回はこれらの部位を便宜上1本の直線でトレースすることにした。また、眼窩前方部分のスライス角度の違いは、容積の計測値に影響するため、作製する冠状断画像をなるべく同一角度からのものにする必要がある。そのため、CTコンソール上で水平断画像を用いて視神経管、視神経の全走行が同一視野に入るように画像の方向を調整して、いわゆるドイツ水平面に平行な断面を作製した¹⁷⁾。そして、この断面に垂直な冠状断を計測に用いた。

コンピュータ画面上でのトレースは、誤差を生じる可能性があると考えられるが、Forbesら⁶⁾によると、その誤差は7~8%とされ、McGurkら¹⁸⁾によると、1.6%である。今回は、同一眼窩2回の撮影データから計測した眼窩容積を比較し検討したところ、差は0.09±0.69(平均値±標準偏差)cm³であった。これは、実測値に対して約0.4%の変動であり、1回目と2回目測定の間には有意差のない結果で(paired-t test, p=0.56)、誤差は極めて少ないと考えられた。

個体における眼窩容積の左右差については、Forbesら⁶⁾は僅少であったとし、McGurkら¹⁸⁾は差は0.65 cm³であったと報告している。さらに、大野による日本人の解剖学的実測では左右差は0.1 cm³であったとしている。今回のCTによる検討でも左右差は0.06±0.56 cm³で有意差はなく(paired-t, p=0.58)、この差は年齢との間にも相関はなかった。このことから、眼窩壁骨折や眼窩内腫瘍で眼窩の形態が変化している場合でも、年齢を問わず健側の計測値と比較して病態を検討することが可能であるといえる。

本検討においては計測の精度を検討していないが、支障のないレベルであることが推測される。

眼窩容積の発育に関する検討では、身長と外側眼窩縁間距離といった、日常診療で得やすいパラメータとの間に相関係数0.86~0.89の強い相関があった。発育に関する検討方法は、年齢を基にした絶対成長を扱うものと、身

体のある部分の成長を基にした相対成長を扱うものにと大別できる。年齢を基にした検討の場合、性差や個体差といった因子が多分に含まれ、一元的な検討ができない。近年、より適切な発育の評価方法として生物学的年齢、すなわち相対成長を重要視するようになってきた。その指標の中でも、身長は計測が簡便で信頼度も高く、遺伝的要因が強く影響し、個人の日常の生理的变化の影響をほとんど受けないとされている。頭部、顔面の発育に関しても身長との間の相関を検討した報告¹⁹⁾²⁰⁾が多数あり、その有用性が改めて確認された。しかし今回の結果では、成人例で予測値から離れた測定値も見受けられ、この原因を検索するために、20 歳以上 40 歳未満の成人男性の肥満度を BMI 値を基に検討したが、肥満による眼窩容積の拡大はなかった。このように生物学的年齢である身長や椎骨長、手骨骨化度などをパラメータにしても、思春期以降の発育は相関係数が低下し、予測精度が低下するとの指摘もある。佐藤²¹⁾は思春期以降の下顎骨の発育においては、身長や他のパラメータとの相関が低下することを指摘しており、眼窩容積についてもこのような可能性について今後さらに検討を要する。

年齢と眼窩容積の検討では、男性は 12~18 歳群まで有意に発育し、女性は 6~12 歳群まで急速に発育した。また、性差は 12~18 歳群以降明らかとなった。図 8 から、12 歳未満の男女はほぼ同一の近似式が得られ、強い相関を示した。また、12 歳以降も弱いながらも有意な相関を示し、眼窩容積が年齢とともに徐々に増加する傾向を示した。推測値ではあるが、急速な眼窩の発育が終了するのは、男性で 14.9 歳、女性で 10.9 歳までであることが考えられ、このときの各々の眼窩容積は 23.2 cm³ および 20.1 cm³ であった。男女ともに成長がほぼ停止していた 18~40 歳群の平均眼窩容積は、男性で 23.6 ± 2.0 cm³、女性で 20.9 ± 1.3 cm³ であるので、10 代前半ですでに成人の 95% 以上の成長を完了したことになる。

一方、40 歳以降でも有意に眼窩容積が拡大した原因を検討するため、身長、外側眼窩縁間距離、スライス数について検討したところ、身長は男性、女性ともに 40 歳以降で有意に低下しており、眼窩容積との関係はむしろ逆説的である。また、外側眼窩縁間距離およびスライス数は、男性のみで有意に増加していた。以上から、40 歳以上の男性は、低身長で外眼角間距離が広く、眼窩の奥行きも深いという特徴を示したものであるが、発育が持続しているとは考えにくく、世代差による骨格の違いが関与しているのではないかと思われた。しかし、本検討においては推測の域を出ない。

厚生省の資料²²⁾から、身長に明らかな性差が現れるのは 14 歳からであり、本検討において 12 歳未満の眼窩容積が男女で同じ発育形式を取ったことは妥当である。Farkas¹⁰⁾は両眼の内眼角間距離と瞳孔間距離を指標として眼窩の発育を推測しているが、内眼角間の距離は

女性 8 歳、男性 11 歳、瞳孔間距離は女性 13 歳、男性 15 歳で成熟し、顔面上部の発育は下部の発育よりも早いことを指摘している。中川¹³⁾は多数例で年齢による瞳孔間距離の変化は 18 歳以降は変動がないことを報告している。また、柳²³⁾による上顎骨の眼窩面の解剖学的実測では、18 歳以降はほぼ一定の大きさであり、上顎骨の上部の発育は下部に比較すると明らかに成熟が早いとしている。今回の結果も、眼窩容積は 18 歳未満でほぼ成熟しており、推測値ではあるが、その時期は男性で 14.9 歳、女性で 10.9 歳と、瞳孔間距離や内眼角間距離と同様の傾向があった。世代差については、一般に知られていることは、身長の高身長化、早熟化および頭部形状の短頭化、顔面の長型化などであり、本検討における 40 歳以上の群の眼窩容積については、さらに症例を集めて検討する必要がある¹⁹⁾。

今後、様々な眼窩疾患で眼窩容積を測定し、データを蓄積することにより、病態を理解する一つのパラメータとして確立することが可能であると思われた。

V 結 語

1. 109 例 129 撮影の X 線 CT 画像を用いて、健常眼窩の容積を測定し、主にその発育について検討を行った。
2. 眼窩容積の計測には、涙嚢窩から視神経管開口部までの範囲の 2 cm スライス連続冠状断画像を用いた。
3. 計測の再現性は良好であった。
4. 個体における眼窩容積の左右差はなかった。
5. 眼窩容積は、身長と外側眼窩縁間距離に強い相関があり、眼窩容積を一元的に推定できる可能性が推定された。また、12 歳未満において性差はなく、年齢との間にも相関が強かった。
6. 眼窩容積が急速に発育するのは、男性で 14.9 歳、女性で 10.9 歳までと推測され、この際の眼窩容積は成人の 95% に達した。眼窩の発育が停止していた 18 歳以上 40 歳未満の平均眼窩容積は、男性 23.6 cm³、女性 20.9 cm³ であった。
7. 40 歳以上の男女で眼窩容積が拡大する傾向があり、成人を検討する場合、世代差も考慮する必要があると考えられた。

文 献

- 1) **Bite U, Jackson IT, Forbes GS, Gehring DG**: Orbital volume measurements in enophthalmos using three-dimensional CT imaging. *Ophthalmic Plast Reconstr Surg* 75:502-507, 1984.
- 2) **Manson PN, Grivas A, Rosenbaum A, Morgan R**: Studies on enophthalmos: The measurement of orbital injuries and their treatment by quantitative computed tomography. *Ophthalmic Plast Reconstr Surg* 77:203-214, 1986.
- 3) **Pathria MN, Blaser SI**: Diagnostic imaging of craniofacial fractures. *Radiol Clin North Am* 27:839-

- 853, 1989.
- 4) 大野六郎：日本人眼窩の研究. *Japanese Journal of Medical Sciences. Anatomy* 1: 149—369, 1927.
 - 5) Albert DM, Jakobiec FA: Principles and practice of ophthalmology: Clinical practice. WB Saunders, Philadelphia, 1871—1880, 1994.
 - 6) Forbes G, Gehring DG, Gorman CA, Brennan MD, Jackson IT: Volume measurements of normal orbital structures by computed tomographic analysis. *Am J Roentgenol* 145: 149—154, 1985.
 - 7) Whitehouse RW, Jackson A: Measurement of orbital volumes following trauma using low dose computed tomography. *Eur Radiol* 3: 145—9, 1993.
 - 8) 筋野哲也, 浜口正規, 背戸好廣, 中村泰久: CT像による眼窩およびその周辺の骨計測. *眼臨* 83: 2154, 1989.
 - 9) 菅原康志, 波利井清紀, 平林慎一, 桜井 淳: 眼球陥凹のメカニズムについて—MPR システムを用いた眼窩形態計測より—. *日本頭蓋顎顔面外科学会誌* 10: 37, 1994.
 - 10) Farkas LG, Posnick JC, Hreczko TM, Pron GE: Growth patterns in the orbital region: A morphometric study. *Cleft Palate Craniofac J* 29: 315—318, 1992.
 - 11) Waitzman AA, Posnick JC, Armstrong DC, Pron GE: Craniofacial skeletal measurements based on computed tomography: Part II. Normal values and growth trends. *Cleft Palate Craniofac J* 29: 118—128, 1992.
 - 12) 母坪雅子, 大庭正裕, 小笠原一男, 木井利明, 中川 喬: 正常者の眼窩形態. *臨眼* 48: 839—842, 1994.
 - 13) 中川 喬, 志賀 清, 大川 忠, 他: 日本人の眼窩形態及び上眼瞼挙筋機能. *臨眼* 28: 689—692, 1974.
 - 14) Whitehouse RW, Batterbury M, Jackson A, Noble JL: Prediction of enophthalmos by computed tomography after 'blow out' orbital fracture. *Br J Ophthalmol* 78: 618—620, 1994.
 - 15) Wilson WB, Manke WF: Orbital decompression in Graves' disease. *Arch Ophthalmol* 109: 343—345, 1991.
 - 16) 古田 実, 八子恵子, 加藤桂一郎, 片倉俊彦, 木村和衛: Helical volume CT (HVCT) の眼窩疾患への応用. *眼紀* 44: 883—888, 1993.
 - 17) 柳下 章: 眼窩及び眼窩内疾患. *放射線医学大系* 6. 中山書店, 東京, 83—121, 1985.
 - 18) McGurk M, Whitehouse RW, Taylor PM, Swinson B: Orbital volume measured by a low dose CT scanning technique. *Dentomaxillofacial Radiol* 21: 655—661, 1993.
 - 19) 塩澤泰子: 人体計測誤差の分析. *人類誌* 93: 399—408, 1985.
 - 20) 松本 稔: 顎顔面頭蓋と全身の相対性長に関する研究. *口病誌* 35: 340—355, 1968.
 - 21) 佐藤亨至: 思春期性成長期における身体各部の成長タイミングに関する研究—下顎骨, 身長, 手骨, 頸椎を対象として—. *日矯歯誌* 46: 517—533, 1987.
 - 22) 厚生省保健医療局: 平成9年版 国民栄養の現状. 第一出版, 東京, 109, 1997.
 - 23) 柳 義文: ヒト上顎骨の発生と発育. *北海道医学雑誌* 64: 648—666, 1989.