

日本産家猫の骨発育に関する研究

とくにX線学的ならびに組織学的研究

鈴木立雄

日本産家猫の骨発育に関する研究
とくにX線学的ならびに組織学的研究

鈴木立雄

(麻布大学獣医学部附属家畜病院)

目 次

緒 論	1
第 I 章 正常骨格発育の X 線学的所見	10
第 1 節 実験材料および実験方法	11
第 1 項 実験材料	11
第 2 項 実験方法	12
第 3 項 骨端核成熟度の評価	13
第 2 節 実験成績	15
第 1 項 前肢骨格発育の X 線所見	15
第 2 項 後肢骨格発育の X 線所見	30
第 3 節 小括	43
第 II 章 正常骨格発育の組織学的所見	50
第 1 節 実験材料および実験方法	51
第 1 項 実験材料	51
第 2 項 実験方法	52

第2節	実験成績	53
第1項	骨軟骨接合部の組織像	53
第2項	加齢に伴う成長帯の組織所見	54
第3項	X線所見と組織所見との比較	58
第3節	小括	59
第Ⅲ章	総括ならびに考察	61
	結論	70
	参考文献	74

緒 論

脊椎動物の骨格は、体の構造を支持ならびに保護する作用を有し、また、筋運動の「てこ」となり、同時に生理学的には無機塩類、脂肪の貯蔵および血球の産生をつかさどるなどの重要な機能を有する〔31, 38〕。

このような機能を有する骨は、生体の中で比較的遅く発生する組織〔40〕であって、発生学的には間葉性結合組織の中で軟骨が作られ、ついで、軟骨の内部あるいは外部から骨化 (ossification) が起こる軟骨性骨化 (cartilage bone formation) と、結合組織内で、直接骨化現象が起こる結合組織性骨化 (membrane bone formation) との2種に区別される〔10, 40, 61, 62〕。前者を軟骨性骨、後者を結合組織性骨という。前者の骨化形式でできる骨は、躯幹、四肢および頭蓋の大部分および舌骨であり、後者の形式にしたがうものは、頭蓋の天井と、側面の前頭骨、

頭頂骨および側頭骨の一部である〔40, 61〕。

軟骨性骨においては、骨幹の骨化はほとんど胎生期に軟骨ではじまる。ついで、成長の途上に一定の場所において一定の時期に、いわゆる骨端核 (ossification center or point) が出現する。そして、骨端核は分化増大してやがて骨幹に癒合し、X線像ではいわゆる骨端線として観察される。やがて骨端線は閉鎖 (消失) して、骨は成熟期に至るが、その時期もほぼ一定している。このような部位、出現、癒合の時期に関する骨格の発育成長の複雑な過程を知ることは、骨のX線学的診断に不可欠の知識となる。

しかも、臨床上X線学的診断を必要とする動物にあっては、骨格系統の検査に関するものが、かなりの割合を占めている。とくに整形外科の領域の疾患では、若い成長期の動物の骨格X線写真は、骨の大きさばかりでなく、骨の石灰化の程度にも違いがあり、X線像の現われ方も異なるので、発育過程にある骨格

のX線像は常に診断に応用されている。

動物を adult として扱う場合には、臨床的にも実験動物としても、一般的には骨成熟によらず、性成熟を規準とすることが多い。しかしながら、その時期の骨格はいまだ完全には成熟していない。ネコでは生後10ヵ月齢ころから adult として繁殖に供されたり、多くの実験研究に使用されている。SMITH [54] は24ヵ月齢に至っても橈骨の遠位端に骨端線の存在を認めるネコがあったと述べている。また、イヌにおいても大型種や超大型種では24ヵ月齢に達しても骨端線の完全閉鎖をみることは少ない。ビーグルでは14ヵ月齢で上腕骨頭や大腿骨頭で骨端線の存在するものがある [25, 42, 69, 70]。

雄ネコまたは雌ネコの性成熟は、仔ネコの時の栄養状態と遺伝的背景によって、通常7~12ヵ月齢に起きる。雌は最初の発情を生後5ヵ月齢もの早期に、体重約2.5kgのころに示す。雄は通常わずかに遅れ、体重約3.5kg

のころに成熟に達する〔3, 7, 8, 27, 33, 65〕。このようなことから、ネコは一般に生後10ヵ月齢前後、体重2.5~3.5kgをもって成猫とみなされている。しかし、骨格の発育をみてみると、前述のごとく24ヵ月齢に達しても成熟しないものがあり、少なくとも生後12ヵ月齢以内にすべての骨において、骨端線の完全閉鎖がみられることは考え難い。したがって、性成熟が認められ、主要臓器重量も安定し、また、体長、体高などの増加することのなくなる骨格の成熟期をもってadultとして扱うのが正しいと考えられる〔25〕。

骨の発育は動物の成長の指標の一つとしてその重要性は多くの人に認められている。清水〔52〕は生物学的時間を知る上で信頼度の高いものとして骨年齢を上げている。

骨年齢の評価には、加齢に伴う骨格の発育過程、すなわち骨端核の出現、分化・増大の過程、癒合完成時期をX線学的に観察することが最も応用性の高い方法である。

加齢に伴う骨格の発育に関する研究は、ヒトでは古くは解剖学的に乾燥骨を主体として行われていたが、1895年にレントゲンによりX線が発見され、1896年にはRANKE [48]により骨端核の出現、化骨の過程の研究が、はじめてX線学的に行われた。それ以来、骨端核の出現、癒合完成時期に関する研究がX線学的に行われるようになった。

PRYOR [45-47]は1905年~1933年にわたり、主に手および腕関節のX線写真を資料として骨端核の出現の時期、性別により化骨状態の異なること、および成熟完成までの形態的变化を述べており、MENEES & HOLLY [35]は新生児の化骨について発表している。1928年KÖHLER [29]は、人体の種々の骨格は同一健康体にあっても一様な化骨過程をとるものでなく、ある骨端核はより早く他の骨端核はより遅い発育をたどることがあり、また、一カ所のみでの発育段階、たとえば手関節あるいは腕関節のみでなく、足・肘などの発育も

あわせて考える必要があると述べている。

わが国では、1912年藤浪〔11〕のX線写真による手根骨の研究にはじまり、深堀〔12-14〕の手根骨・肘関節部その他の化骨期の研究、さらに南〔39〕、加藤〔26〕らの肘関節部骨端核の研究、田島〔58, 59〕による骨盤・膝関節部の研究、村本〔41〕による肘関節の成熟過程の研究などがある。

いずれにしても、ヒトでの加齢に伴う骨格発育については、主として腕関節のX線写真を資料として、骨端核の出現ならびに癒合完成までの形態的变化が観察された。とくに近年多くの詳細な報告がなされ〔16, 28, 34, 37, 56, 57〕、ヒトの骨の成長の完成時期はほぼ18~22歳であるとされ、広く乳幼児や青少年の発育、種々の骨疾患の診断・治療に応用されている。

一方、動物の骨格の発育に関する研究は、ウマでは1931年松原〔32〕が幼駒の化骨に関して、これを解剖学的見地より明らかにした

が、X線学的研究は戸原〔63〕の馬肢骨格の化骨に関する研究、吉田ら〔71〕の尺骨頭と踵骨の骨年齢評価、GUFFYら〔18〕の胎児の発育、HERTSCH〔24〕の膝関節部の化骨に関する研究などをみる。また、ヒツジでの戸原〔64〕の肢骨の化骨に関する研究、サルでのVan WAGENENら〔66〕、マウスでの福田ら〔15〕の報告がある。

家畜にあつては、とくにイヌでの骨格の発育に関する報告が多く、なかでも四肢長骨の骨端形成に関する観察〔1, 2, 19, 20, 22, 23, 25, 30, 42, 44, 68-70〕が多いが、その他頸椎骨〔20, 21〕、骨盤骨〔19, 25, 53〕などの観察もみられる。

ところでネコの骨格の発育に関する研究は、1898年のJAYNEの鎖骨についての解剖学的観察にはじまり、SCHAEFFER〔50〕はホルマリン保存した生後1日齢から341日齢に及ぶ16頭のネコの骨化した組織の証明に、アリザリン染色を用い長骨の化骨を明らかにした。X

線写真による観察は1959年のBRESSIONら〔5, 6〕の四肢長骨の骨端形成に関する観察, BOYD〔4〕の胎児の四肢骨格の骨核出現に関する研究, SMITHの骨核の出現〔54〕と癒合〔55〕に関する研究をみる。しかしながら, これらの研究では, 骨核の出現と癒合の時期の観察のため, X線撮影に用いられたネコは研究室内の閉鎖環境下で出産, 一定の飼料により飼育管理されたものであり, 著者が日常臨床上で対象とするネコとは極めて趣を異にする。

ヒトでは人種による骨格発育の相違が多少みられているが, イヌでは犬種による体格の差が著しく, 環境や飼料による相違も少なくないことが知られている。そこで, 著者は日常診療の対象となる一般家庭で飼育管理されているネコについて, 生後1日齢から24ヵ月齢までの生後日齢の正確なネコの四肢の骨格をX線写真で観察した。また, X線像の各変化の研究のために, X線学的検索と同時に, 成長途上の骨の発育に大きく関与する成長帯

の骨化の経過を組織学的に検索した。

正常な骨格の発育過程を知ることは、単にネコの骨年齢を知るにとどまらず、栄養性欠陥、繁殖期の決定、骨疾患の診断あるいは獣医整形外科の分野などに重要な基礎的資料を与えるものと考えた。また、骨年齢評価はもとより、ネコを実験動物として扱う場合などに応用性の高いものと考え本研究を行なった。

第 I 章 正常骨格発育の X 線学的所見

獣医整形外科学の分野では、X 線写真に現われる X 線像の解剖学的な正常像と異常像に精通していることが必須の条件である。とくに未成熟動物の X 線写真を判読するにあたっては、骨格発育の正しい評価が必要である。

動物における骨格発育の X 線学的研究は、ウマでの戸原 [63]、吉田ら [71]、GUFFY ら [18]、HERTSCH [24]、ヒツジでの戸原 [64]、サルでの Van WAGENEN ら [66]、マウスでの福田ら [15] がある。とくにイヌでその報告が多い。[1, 2, 19-23, 25, 30, 42, 44, 53, 68-70]。わが国での報告はビーグル種での一木ら [25, 42, 69, 70] の研究がある。

ネコでの骨格発育に関する X 線学的研究は、1959年の BRESSOU ら [5, 6] の四肢長骨の骨端形成に関する観察、BOYD [4] の胎児の四肢骨格の骨核出現に関する研究、SMITH

の骨核の出現〔55〕と癒合〔54〕に関する研究をみるが、わが国での報告はない。

ネコは外科においては、しばしばX線検査の対象となるが、それらの年齢差による骨格の状態についての報告は上述の研究以外にみあたらず、発育過程にあるネコのX線判読上必ずしも満足できるものではない。

そこで、著者は日常診療の対象となる一般家庭で飼育管理されている生後1日齢から24ヵ月齢までのネコを用い、四肢骨のX線撮影を行い、正常骨格における骨端核の出現から癒合までの骨端部の骨化について、骨成熟度の評価を試みた。

第1節 実験材料ならびに実験方法

第1項 実験材料

X線撮影に用いたネコは、1976年10月～1980年2月1日までに一般家庭において種々の条件下で出産、発育し、しかも、種々の条件下で飼育管理されている生後1日齢から24ヵ

月齢までのものを用いた。それらは1日齢, 10頭, 2~5日齢, 35頭, 6~10日齢, 37頭, 11~20日齢, 12頭, 21~30日齢, 10頭, 31~40日齢, 25頭, 41~60日齢, 27頭, 2~3カ月齢, 9頭, 3~4カ月齢, 8頭, 4~6カ月齢, 5頭, 6~8カ月齢, 9頭, 8~10カ月齢, 3頭, 10~12カ月齢, 7頭, 12~15カ月齢, 4頭および15~24カ月齢, 5頭の生年月日が正確で, 発育正常と認められた健康な日本産家猫, 計206頭(雄87頭, 雌119頭)である。

第2項 実験方法

X線の撮影は, 左側前肢骨格と後肢骨格を前-後方向および内-外方向で行なった。

骨端核の観察は, 前肢では関節上結節, 上腕骨頭, 上腕骨遠位端, 橈骨近位端および遠位端, 肘頭, 尺骨遠位端, 副手根骨, 第3中手骨遠位端, 後肢では大腿骨頭, 大腿骨遠位端, 脛骨近位端および遠位端, 腓骨近位端お

よび遠位端、踵骨、第3中足骨遠位端の17部位について行なった。

第3項 骨端核成熟度の評価

骨端核の評価の基準についてはTODD [60], GREULICH-PYLE [17]の基準があるが、これをさらに要約簡便化し、骨端核の加齢に伴う形態の変化が成熟骨に至るまでを0~10の11段階とした大和田・SUTOWの分類法[43]にしたがって評価した。

骨端核の評価基準 [43]

- 0 : 骨端核未出現。
- 1 : 骨端核が小円形の陰影として出現(骨核出現時期に相当する)。
- 2 : 1の段階より分化増大するが、その輪郭滑らかなる円形で、まだ骨核固有の形態をとらない。
- 3 : 骨核固有の分化がはじまる。
- 4 : 骨核固有の分化が判然とし、その輪郭

凹凸を生ずる。しかし、骨核の幅は骨幹の幅より小さい。

- 5 : 両者の幅が一致する。しかし、「Capping」は起こらず。
- 6 : 骨核が骨幹の縁にかぶさり、いわゆる「Capping」のはじまる時期。固有の形態は明瞭になるが、骨核と骨幹の間に空隙をのこす。
- 7 : 骨核と骨端との距離は縮少し、2平面が平行状態となり、鋸状を呈する。
- 8 : 両者の癒合がはじまるが、まだ完成しない時期。
- 9 : 癒合は完成するが、いまだ明瞭な相連続した骨端線が認められる。
- 10 : 非常に微細な骨端線が残存または完全に消失し、癒合が完成した時期（骨端線の閉鎖時期に相当）。

以上のような評価段階は、部位によっては完全に分類することは困難であったので、こ

のような部位にあつては本分類〔43〕を準用するにとどめ、一木〔25〕のビーグル種での基準を応用し、各部位に準ずる著者独自の段階を定め基準とした。

第2節 実験成績

日本産家猫の骨格発育を知る目的で、生年月日の確実な、生後1日齢から24ヵ月齢までのネコの四肢骨格のX線撮影を行い、四肢骨における骨端核の出現および骨幹への癒合の時期を観察した。

第1項 前肢骨格発育のX線所見

前肢骨を内-外方向および前-後方向より撮影したX線写真を用い、肩甲骨、上腕骨、前腕骨、手根骨、中手骨の関節上結節、上腕骨頭、上腕骨遠位端、橈骨近位端および遠位端、肘頭、尺骨遠位端、副手根骨、第3中手骨遠位端の9部位における骨端核の発育過程を観察した成績は、以下の通りである。

1. 肩甲骨

a. 関節上結節

左側肩甲骨を内-外方向より撮影した代表的なX線写真とそのX線像のスケッチの、生後1日齢から24ヵ月齢までを、各日月齢ごとにFigure 1-1~3に示した。

肩甲関節最前面に形成される関節上結節と鳥口突起の骨端核の発育経過は、つぎの7段階の評価基準によって観察した。

0 : 骨端核未出現。

1 : 関節上結節骨端核と鳥口突起骨端核が小円形の陰影として出現。

3 : 二つの骨端核は癒合し、骨核固有の分化がはじまる。

4 : 骨核はさらに大きくなり、固有の輪郭を現わすが、骨核の幅はまだ骨幹の幅より小さい。

6 : 骨核固有の形態が明瞭となるが、骨幹との間に空隙を残す。

9 : 完全に癒合するが、明瞭な連続した骨

端線が認められる。

10：微細な骨端線がわずかに残存，または完全に消失し，癒合が完成。

以上の評価基準で観察した肩甲骨関節上結節骨端核の発育成績をTable 1に示した。

内-外方向より撮影したX線写真でみる肩甲骨の形態は，生後1日齢のもので成体の形と類似しており，その外側面には明瞭な肩甲棘を有し，扁平でいわゆるD型を呈している。

関節上結節の骨端核の出現は比較的遅く，45日齢ころよりほぼ同時に二つの核が迎接して出現しはじめるが，60日齢に至っても27頭中9頭にしか認められなかった。しかし，2~3カ月齢ではすべての個体に出現した。そして，骨端核の骨幹への癒合は極めて速く，3~4カ月齢ではすべての個体で癒合が認められ，すでに8頭中3頭は完成の段階（評価段階10）に達していた。4カ月齢以降では，骨端線は消失し，すべての個体で癒合の完成が認められた。

2. 鎖骨

撮影したX線写真でみる鎖骨は、小さな細長い一片の骨として、生後1日齢より認められた。鎖骨には付加的な骨端核の出現はなく、日月齢の経過に伴い細い裂片骨として比例的に増大した。すべての時期で骨性連結はなく、肩関節前側に位置していた。

3. 上腕骨

a. 上腕骨頭

左側上腕骨頭を内-外方向より撮影した代表的なX線写真とX線像のスケッチを、1日齢から24カ月齢まで、Figure 2-1~3に示した。

上腕骨頭の骨端核の発育は大和田・Sutow [43] の評価基準に準じて観察した。その発育成績をTable 2に示した。

上腕骨の骨幹は1日齢で存在し、その近位端はわずかに凸状を呈している。

骨端核はより円錐形に発達した凸面上に出現し、すでに生後1日齢の10頭中3頭で認め

られた。そして、2~5日齢では約半数の35頭中19頭の個体に出現しており、すでに3の段階に達しているものが一頭あった。すべての個体で骨端核が認められたのは8日齢以降であった。生後11~20日齢の半数の12頭中の6頭では、すでに骨核は固有の輪郭を現わし、評価基準4の段階に達し、31日齢ですべての個体が4の段階に達していた。その後、4カ月齢で capping (評価基準6) がはじまり、その半数(5頭中3頭)で6カ月齢以前に骨端核の骨幹への部分的な癒合(評価段階7)が認められた。しかし、癒合の完成は比較的遅く12カ月齢以降であった。10~12カ月齢ではいまだ大部分の個体で明瞭な連続した骨端線が認められた。すべての個体で癒合の完成が認められたのは、15カ月齢以降であった。

上腕骨を前-後方向で撮影した場合、50日齢から70日齢の一部の個体で、骨頭の内側面上および外側面上に第二、第三の骨端核が認められることがあったが、この骨端核をX線

写真で判読することは困難であった。

b. 上腕骨遠位端

左側上腕骨遠位端を前-後方向より撮影した代表的なX線写真とそのX線像のスケッチの、生後1日齢から24ヵ月齢までを、各日月齢ごとにFigure 3-1~3に示した。

上腕骨の遠位端には、内側顆、外側顆、内側上顆、外側上顆の四つの骨端核が出現し、遠位端骨端核を形成する。したがって、その発育過程は、つぎの評価基準によって観察した。

- 0 : 骨端核未出現。
- 1 : 外側顆骨端核が小田形の陰影として出現。
- 2 : 外側顆骨端核がやや大きくなり、内側顆骨端核が出現。
- 3 : 内・外側顆骨端核は大きくなり、さらに内側上腕面上に骨端核が出現。
- 4 : 内側上顆骨端核はやや大きくなり、さらに外側上顆面に骨端核が出現。

- 5 : 内・外側顆骨核は癒合するが、内・外側上顆骨核はまだ癒合しない。
- 6 : 内・外側上顆骨核は内・外側顆骨核に癒合し、固有の輪郭を現わすが、核の幅はいまだ骨幹の幅より小さい。
- 7 : 核の幅が骨幹の幅に一致するが、その間に空隙を残す。
- 8 : 両者の癒合が半分以上に進む。
- 9 : 完全に癒合するが、連続した骨端線が認められる。
- 10 : 微細な骨端線がわずかに残存、あるいは完全に消失して癒合が完成。

以上の評価基準で観察した上腕骨遠位端骨端核の発育成績は Table 3 に示した通りである。

上腕骨遠位端は出生時三角形を呈し、内側面に存在する顆上孔は逆U字状に、内側上顆で開放している。そして、その閉鎖は骨端核の出現の時期に一致した。

すなわち、上腕骨遠位端の骨端核は、外側

顆骨端核の出現が最も早く、生後14日齢ころより出現し、21~30日齢ですべての個体に出現した。31~40日齢では内側上顆骨核が、41~60日齢では外側上顆骨核が出現する。2~3ヵ月齢には内・外側顆骨核は癒合し、上腕骨滑車溝が明白となる。さらに、9頭中3頭では骨端核は一つになり、上腕骨遠位端固有の形態(評価基準7)が形成された。骨端核が骨幹に癒合をはじめるのは生後3~4ヵ月齢で、骨端線がほとんど消失して骨幹への癒合が完成、すなわち評価基準10の段階と認められたのは、4ヵ月齢以降であった。

4. 橈骨

a. 橈骨近位端

左側橈骨近位端を前-後方向より撮影した代表的なX線写真とX線像のスケッチの、生後1日齢から24ヵ月齢までを、Figure 4-1~3に示した。

橈骨近位端の骨端核の発育過程は大和田・SUTOW [43] の評価基準によって観察した。

その発育成績を Figure 4 に示した。

橈骨の骨幹は生後 1 日齢で存在していた。

近位骨端の出現は、早い個体では生後 18 日齢で認められ、24 日齢においてはすべての個体で認められた。そして、41～60 日齢には半数以上の個体（27 頭中 15 頭）で骨端核固有の輪郭を現し、評価 5 の段階に至った。3～4 カ月齢のすべての個体で骨端核と骨幹の癒合が認められた。6 カ月齢に至ると両者の間隔は消失し、完全に癒合するのが（評価基準 9）、骨端線が消失または、痕跡程度となり、成熟と認められたのは、生後 6 カ月齢以降であった。

b. 橈骨遠位端

左側橈骨遠位端の前-後方向の代表的な X 線写真とそのスケッチを、尺骨遠位端と同時に生後 1 日齢から 24 カ月齢まで、Table 5-1～3 に示した。

骨端核の発育は、大和田・SUTOW [43] の評価基準に準じて観察した。その観察成績は

Figure 5 に示した通りである。

橈骨遠位端の骨端核の出現は、近位端の骨端核の出現よりやや早く、生後20日齢で約半数（12頭中5頭）に出現し、24日齢以降のすべての個体で認められた。骨核の分化は早く、40日齢には固有の輪郭を現わすようになる。3ヵ月齢では固有の形態が形成され、骨幹への癒合もはじまるが、骨端線は非常に長く開放したままであった。骨端線は早い個体で14ヵ月齢、遅い個体で18ヵ月齢まで存在し、成熟骨と認められるまでに4ヵ月以上の差があった。1例において22ヵ月齢以降で、骨端線の微細な痕跡のみられた個体があったが、癒合は完成し、成熟骨の形態を呈した。

5. 尺骨

a. 肘頭

左側尺骨肘頭の内-外方向の代表的なX線写真とそのスケッチの、1日齢から24ヵ月齢までを、Table 6-1~3に示した。

肘頭の骨端核の発育は、大和田・SUTOW〔

43J の評価基準に準じて観察した。その観察成績を Figure 6 に示した。

尺骨の骨幹は生後1日齢で存在し、その近位端はこん棒状を呈し、滑車切痕の陥凹面が認められる。

尺骨近位端の発育は、肘頭の骨端核の出現にはじまり、滑車切痕の固有形態の形成と相まって、肘頭骨核の骨幹への癒合により成熟する。

肘頭の骨端核の出現は生後21日齢以降にはじまり、31日齢で、すべての個体で三角形状の骨核をもつ。その発育は急速で41~60日齢にはその大半(27頭中24頭)が固有の形態を現わし、核は骨幹の幅に一致する。

3~4ヵ月齢には骨核の骨端への癒合がはじまるが、骨端線が消失(評価基準10)して、すべての個体で癒合が完成と認めるまでには10ヵ月齢を要した。

b. 尺骨遠位端

左側尺骨遠位端の前-後方向の代表的なX

線写真とそのスケッチを、橈骨遠位端と共に生後1日齢から24ヵ月齢まで、Table 5-1~3 に示した。

骨端核の発育は、大和田・SUTOW [43] の基準に準じて観察した。その観察成績はFigure 7 に示した通りである。

骨端核は生後18日齢から出現し、31日齢以降のすべての個体で認められた。小円形の骨端核は徐々に60日齢を越えるまで、独特な柱状の形に増大し、生後3ヵ月齢以降では、骨核が骨幹にかぶさり、固有の形態が明瞭となった(評価基準6)。しかし、骨核が骨幹へ癒合が始まるのは7ヵ月齢以降であった。

尺骨遠位端骨端核の骨幹への完全癒合は、橈骨遠位端骨端核の癒合同様極めて遅く、評価基準10、すなわち骨端線が消失して骨成熟と認められたのは18ヵ月齢以降であった。

6. 手根骨：副手根骨

手根骨は中間橈側手根骨、尺側手根骨、副手根骨、第1手根骨、第2手根骨、第3手根

骨および第4手根骨の7個よりなるが、出生時、いずれの骨核も未出現であった。骨核がすべてのネジで出現するのはおおむね生後20日齢以降であった。手根骨のそれぞれの骨核は極めて小さく、各骨の分化をX線写真で判読するのは極めて困難であるため、ここでは他の手根骨に似ていない副手根骨の発育過程を観察した。

・左側副手根骨の内-外方向の代表的なX線写真とそのスケッチの、20日齢から24ヵ月齢までを、Table 7に示した。

骨核と副骨核からなる副手根骨の発育経過は、つぎの9段階の評価基準によって評価した。

- 0：骨核未出現。
- 1：副手根骨骨核が、小円形の陰影として出現。
- 2：骨核固有の分化がはじまる。
- 3：さらに進み固有の輪郭を現わすようになり、後側に副骨核が出現。

- 4 : 後側副骨核の分化増大が認められる。
- 5 : 後側副骨核は固有の輪郭を現わすようになるが、その幅は副手根骨骨核より小さい。
- 6 : 両者の幅が一致するが明瞭な間隔が認められる。
- 9 : 完全に癒合し、副手根骨固有の形態となるが、両骨核の骨端線が明瞭に認められる。
- 10 : 両骨核の骨端線の痕跡が残存、または完全に消失、癒合が完成。

以上の評価基準で観察した副手根骨の発育成績を Figure 8 に示した。

副手根骨は骨核と副骨核の二つから発達するが、いずれの骨核も出生時には出現していない。骨核の出現は生後19日齢で出現したが、すべての個体で認められたのは21日齢以降であった。その後、31~40日齢では1/3の個体(25頭中9頭)で、骨核は固有の輪郭を現わすようになり、後側副骨核が出現し評価3

の段階に達した。41～60日齢では両骨核の癒合はみられないが、27頭中8頭で両者の幅は一致し、固有の形態を現わすようになる（評価基準6）。生後2ヵ月齢以降に至ると両骨核の癒合がはじまり、4～6ヵ月齢の5頭中3頭では骨端線は消失していた。6ヵ月齢以降は、すべての個体で副手根骨の形態的な完成が認められた。

7. 中手骨：第3中手骨

前肢には5本の中手骨があるが、それらの形と大きさは、第1中手骨が非常に短いことを除いて、よく類似しているので、ここでは第3中手骨の発育を観察した。

左側第3中手骨の前-後方向の代表的なX線写真と、そのスケッチを、生後1日齢から24ヵ月齢まで、Table 8-1～3に示した。

骨端核の発育は、大和田・SOTOW [43] の評価基準に準じて観察し、その成績をFigure 9に示した。

中手骨の骨幹は出生時に存在する。骨端核

は18日齡の遠位端に出現し、31~40日齡ではその大半(25頭中22頭)が6の段階に達していた。41日齡以降では癒合が認められるようになり、6~8ヵ月齡で9頭中2頭は、すでに骨端線は消失していた。10ヵ月齡以降では、すべての個体において癒合が完成した。

第2項 後肢骨格發育のX線所見

後肢骨の大腿骨、下腿骨、足根骨、中足骨を内-外方向および前-後方向より撮影したX線写真を用い、大腿骨頭、大腿骨遠位端、胫骨近位端および遠位端、腓骨近位端および遠位端、踵骨、第3中足骨遠位端の8部位における骨端核の發育過程を觀察した。その成績は以下の通りである。

1. 大腿骨

a. 大腿骨頭

左側大腿骨頭を前-後方向より撮影した代表的なX線写真とそのX線像のスケッチの、生後1日齡から24ヵ月齡までを、各日月齡ご

とに Figure 9-1~3 に示した。

大腿骨頭の骨端核の発育は、大和田・SUTOW [43] の評価基準に準じて観察した。その発育成績を Table 10 に示した。

大腿骨の骨幹は生後1日齢で存在している。

大腿骨近位端、すなわち大腿骨頭での骨端核の出現は、3日齢の個体ではじめて認められるようになり、2~5日齢の約1/3 (35頭中12頭) の個体に出現していた。11日齢以降にはすべての個体で認められ、21~30日齢ではほとんど固有の形態となり、しかも10頭中6頭の個体では、骨端核と骨幹の幅が一致し、評価基準5の段階に達していた。31~40日齢には25頭中17頭で Capping の状態が認められた。51日齢以降では骨端核の骨幹への癒合がはじまり、3~4ヵ月齢にはすべての7の段階に達した。6ヵ月齢以降では、いずれの個体も骨幹に癒合がはじまったが、両者の骨端線が完全に消失し、骨成熟と認められたのは8ヵ月齢以降であった。

大腿骨近位端では大腿骨頭の骨端核のほか
に、二つの骨端核の出現を認めた。その一つ
は大転子骨端核であり、他の一つは小転子の
骨端核であった。大転子骨端核は生後33~43
日齢に、小転子骨端核は33~53日齢までにそ
れぞれ、その出現が認められたが、その分化、
増大を判読することは困難であった。

b. 大腿骨遠位端

左側大腿骨遠位端を前-後方向より撮影し
た代表的なX線写真とそのX線像のスケッチ
の、生後1日齢から24ヵ月齢までを、各日月
齢ごとにFigure 10-1~3に示した。

大腿骨の遠位端には内側顆、外側顆の二つ
の骨端核が出現し、これらは次第に分化増大
して癒合し、遠位骨端核を形成する。したが
って、その発育過程は、つぎの評価基準によ
って観察した。

0 : 骨端核未出現。

1 : 内側顆、外側顆の骨端核が、小田形の
陰影として出現。

- 2 : 骨端核は分化, 増大するが, いまだ固有の形態を現わさない。
- 3 : 骨端核固有の分化がはじまる。
- 4 : 骨端核は遠位骨端核固有の輪郭を現わすようになる。
- 5 : 内・外側顆の骨端核は癒合し, 骨幹の幅に一致するようになる。
- 6 : 骨端核の骨幹への capping が進む。
- 7 : 骨端核と骨幹の癒合がはじまる。
- 8 : 両者の癒合が半分以上に進む。
- 9 : 両者は完全に癒合するが, いまだ骨端線が明瞭に認められる。
- 10 : 微細な骨端線はわずかに残存, あるいは完全に消失して癒合が完成。

以上の評価基準で観察した大腿骨遠位端の骨端核の発育過程の成績は, Table II に示した通りである。

両骨端核の出現は3日齢ではじめて認められ, 11日齢にはすべての個体で出現した。そして, 21日齢以降には分化, 増大がはじまり,

41～60日齢には評価6の段階、すなわちcappingが認められるまでに発育していた。さらに、2～3ヵ月齢で癒合がはじまり、6～8ヵ月齢では、ほとんどの個体(9頭中7頭)で骨端核と骨幹が完全に癒合し、骨端線を残すのみとなった(評価基準9の段階)。12ヵ月齢以降では両者の骨端線は完全に消失し、いずれも癒合が完成し、成熟骨の形態が認められた。

2. 膝蓋骨

観察に用いたX線写真でみる膝蓋骨は、出生時には認められず、小円形の陰影として出現しはじめたのは、生後46日齢からで、63日齢以降の個体ではすべて出現していた。膝蓋骨には付加的な副骨核の出現はなく、日月齢の経過に伴い、扁平な洋梨状を呈する骨として比例的に分化、増大した。

3. 胫骨

a. 胫骨近位端

左側胫骨近位端を前-後方向より撮影した

代表的なX線写真とX線像のスケッチを、Figure 11-1~3に、また、内-外方向より撮影したX線写真とそのスケッチを、Figure 12-1~3に、1日齢から24ヵ月齢まで示した。

脛骨近位端の発育は近位骨端核の出現、分化、増大、脛骨粗面の骨端核出現、両者の増大、癒合；さらにはこれら両骨端核の骨幹への癒合を経て形成される。したがって脛骨近位端の発育過程を；つぎの基準によって評価した。

- 0：骨端核未出現。
- 1：骨端核が小円形の陰影として出現。
- 2：骨端核は分化増大する。
- 3：骨端核は固有の分化を現わし、脛骨粗面の骨核が小円形の陰影として出現する。
- 4：骨端核は固有の形態を現わすようになるが、いまだ骨幹の幅より小さい。
- 5：脛骨粗面の骨核が固有の分化をはじめる。

- 6 : 骨端核の幅は骨幹の幅に一致するようになり, 胫骨粗面の骨核は固有の形態を現わす。
- 7 : 骨端核は骨幹へ癒合しはじめるが, 胫骨粗面の骨核はいまだ癒合しない。
- 8 : 骨端核は骨幹へ癒合するが, 両者の骨端線はいまだ明瞭に認められる。
- 9 : 胫骨粗面の骨核が骨端核および骨幹へ癒合するが, 骨幹との骨端線はいまだ明瞭に認められる。
- 10 : 骨端核, 胫骨粗面の骨核, 骨幹の三者が完全に癒合し, それらの骨端線が完全に消失または痕跡が認められる。

以上の評価基準で観察した胫骨近位端の骨端核の発育過程の成績を Table 12 に示した。

体中で最長の骨である胫骨の骨幹は, 生後 1 日齡で存在する。

骨端核の出現は生後 10 日齡よりはじまり, 21 ~ 30 日齡にはすべての個体で分化増大が認められ, 胫骨粗面の骨核も出現した。胫骨粗

面の骨核は2~3ヵ月齢には固有の形態を現わし、骨端核への癒合は認められないが、骨端核の骨幹への癒合がはじまった。胫骨粗面の骨核が骨端核へ癒合するのは4~6ヵ月齢で、8ヵ月齢に至るとすべての個体が評価9の段階に達していた。そして、骨端核、胫骨粗面の骨核、骨幹の三者が完全に癒合し、骨端線も痕跡を残す程度になったのは、12ヵ月齢以降であった。

b. 胫骨遠位端

左側胫骨遠位端の前-後方向の代表的なX線写真とそのスケッチを、腓骨遠位端と同時に1日齢から24ヵ月齢まで、Figure 13-1~3に示した。

骨端核の発育は、大和田・SUTOW [43]の評価基準に準じて観察した。その評価成績はTable 13に示した通りである。

骨端核の出現は14日齢の個体から認められ、21~30日齢で分化がはじまった。31~40日齢では約半数(25頭中11頭)の個体で、すでに

cappling が認められた。2～3ヵ月齢で骨端核と骨幹の癒合が認められた。4～6ヵ月齢ではほとんどの個体において骨端核と骨幹の完全な癒合が認められ、6～10ヵ月齢ではほとんどの個体で骨端線を残していたが、10ヵ月齢以降では骨端線も消失し、癒合完成が認められた。

4. 腓骨

a. 腓骨近位端

左側腓骨近位端を前-後方向より撮影した代表的なX線写真とそのスケッチの、1日齢から24ヵ月齢までを、Figure 14-1～2に示した。

近位端の骨端核の発育は、大和田・Sutow [43] の評価基準に準じて評価した。その評価成績をTable 14に示した。

腓骨骨幹は生後1日齢で存在し、その近位端は細長い棒状を呈している。

骨端核の出現は比較的遅く、33日齢以降であり、すべての個体で認められたのは41日齢

以降であった。41～60日齢には骨端核が固有の形態を示すものが27頭中8頭、さらには骨幹の幅に一致するものが27頭中4頭あった。

2～3ヵ月齢にはcappingもはじまり、9頭中4頭では、骨端核と骨幹の癒合が認められた。6ヵ月齢では、ほとんどの個体で明瞭な骨端線を認めるが、一方では骨端線の痕跡を認める程度に発育したものもあった。8ヵ月齢以降では、骨端線の痕跡が認められるものもあったが、すでにいずれの個体においても癒合は完成し、評価10の段階に達していた。

b. 腓骨遠位端

左側腓骨遠位端の前-後方向の代表的なX線写真とそのスケッチを、脛骨遠位端と合せて1日齢から24ヵ月齢まで、Figure 13-1～3に示した。

骨端核の発育は、大和田・SUTOW [43]の基準に準じて観察した。その観察成績はTable 15に示した。

遠位端の骨端核の出現は、近位端の骨端核

の出現に比しておおむね2週間早く、生後21日齢よりはじまり、31日齢以降のすべての個体ではすでに柱状の固有の形態を現わし、1例ではすでにcappingがはじまっていた。さらに41~60日齢には、27頭中12頭の個体で骨端核の骨幹への癒合がはじまり、6~8ヵ月齢には大部分の個体で癒合が進み、骨端線を認めるだけの9の段階までに達した。10ヵ月齢以降では骨端線の完全閉鎖が認められ、骨成熟に達した。

5. 足根骨：踵骨

足根骨は手根骨同様、踵骨、距骨、中心足根骨、第1足根骨、第2足根骨、第3足根骨、および第4足根骨の7個の骨からなる。その内、出生時に出現していたのは踵骨と距骨の二つの骨核のみであった。すべての足根骨の発育過程の違いをX線写真により判読することは手根骨同様極めて困難であったので、ここでは特異な形状を示す踵骨の発育過程を観察した。

左側踵骨を内-外方向より撮影した代表的なX線写真と、そのスケッチの1日齢から24ヵ月齢までをFigure 14-1~3に示した。

骨核と副骨核からなる踵骨の発育過程は、つぎの7段階の評価基準によって評価した。

0：副骨核未出現。

3：踵骨外側突起面に副骨核が円形の陰影として出現。

4：副骨核の分化増大がはじまる。

5：副骨核は固有の輪郭を現わすが、その幅は踵骨骨核より小さい。

6：両者の幅が一致するが明瞭な間隔が認められる。

9：両者は完全に癒合し、踵骨固有の形態ができあがるが、いまだ骨端線が明瞭に認められる。

10：骨端線の痕跡が残存、または完全に消失し、癒合が完成した時期。

以上の評価基準で観察した踵骨の発育成績をTable 16に示した。

前肢の副手根骨と異なり、踵骨の骨核は出生時すでに長円形状を呈し存在している。

副骨核の出現は、骨核が固有の形態を示すようになった24日齢より出現し、すべての個体で認められるようになったのは41日齢以降であった。しかし、この時期ではすでに骨核と副骨核の幅が一致する評価6の段階に達している個体が27頭中6頭あった。3～4ヵ月齢にはほとんどの個体で癒合が認められたが、すべての個体で癒合が完成したのは8ヵ月齢以降であった。

6. 中足骨：第3中足骨

ほとんど痕跡的である第1中足骨を除いて、第2～5の4本の中足骨が存在するが、いずれも類似しているので、ここでは第3中足骨の発育過程を観察した。

左側第3中足骨の前-後方向の代表的なX線写真と、そのスケッチを、生後1日齢から24ヵ月齢まで、Figure 15-1～3に示した。

骨端核の発育は、大和田・SUTOW [43] の

評価基準に準じて評価し、その成績を Table 17 に示した。

中足骨の骨幹は 1 日齢に存在する。

中足骨の骨端核は中手骨同様遠位端に出現する。その出現は 21 日齢以降であった。31~40 日齢では 25 頭中 7 頭が評価 6 の段階に達していた。そして、骨端核の骨幹への癒合は早いもので 51 日齢にはじまり、3 カ月齢以降のすべての個体に認められた。6~8 カ月齢では 9 頭中 6 頭の個体が評価 9 の段階に達した。骨端線が消失し、癒合完成と認められたのは 8 カ月齢以降であった。

第 3 節 小指

日本家猫の骨発育過程を知る目的で、X 線陰影像で判読可能な四肢骨格について、骨端核の出現から、分化増大、骨幹への癒合の時期までを、大和田・SUTOW [43] の骨評価基準を応用して形態的に観察した。

X 線撮影に用いられたネコは実験的に飼育

管理されたものではなく、一般家庭において種々の条件下で出産、発育している、臨床上健康で、生年月日の確実な生後1日齢から24ヵ月齢までの、日本産家猫206頭（雄87頭、雌119頭）である。

前肢骨（肩甲骨、上腕骨、前腕骨、手根骨、中手根）9部位、後肢骨（大腿骨、下腿骨、足根骨、中足骨）8部位の骨端核の発育成績は次の通りであった。

1. 前肢骨の発育

肩甲骨：肩甲骨幹は出生時すでに存在する。肩甲骨では関節窩最前部に関節上結節と烏口突起に相当する二つの骨端核が1.5～2ヵ月齢で出現する。その癒合は烏口突起の骨核は2～2.5ヵ月齢で関節上結節の骨核と癒合し、ついで3ヵ月齢で関節上結節の骨核は、肩甲骨体に癒合した。

鎖骨：出生時より存在し、付加的な骨核の出現は認められなかった。

上腕骨：上腕骨の骨幹は出生時より認めら

れ、骨端核の出現は近位骨端で早く、1~7日齢で認められた。遠位端ではまず、内側顆、外側顆にそれぞれ1つの核が、生後10~25日齢で出現、ついで、内側上顆、外側上顆にそれぞれ1つの核が出現した。一方、その癒合は遠位骨端で早く、まず内側上顆、外側上顆部の骨核が2.5ヵ月齢前後で内側・外側顆と癒合し、ついで3~4ヵ月齢で内側顆・外側顆は上腕骨骨幹と癒合した。これに対し近位骨端核の癒合は遅く、12~14ヵ月齢で骨幹と癒合した。なお上腕骨近位端ではとくに大転子および小転子に相当すると考えられる骨核の存在を認めたが、この骨端核をX線写真で判読することは困難であった。

橈骨：骨幹は出生時に存在していた。骨端核の出現は生後18~25日齢で近位骨端、遠位骨端ほとんど同時であった。その癒合は近位骨端で早く4.5~6.5ヵ月齢であった。一方、遠位骨端での癒合は遅く15~18ヵ月齢であった。

尺骨：尺骨骨幹は出生時に存在した。骨端核の出現は遠位骨端でわずかに早く生後18～35日齡，肘頭で21～35日齡であった。その癒合は肘頭で10ヵ月齡前後，遠位骨端では橈骨遠位端同様，15～18ヵ月齡であった。

手根骨 - 副手根骨：出生時，手根骨の骨核は未出現であった。個々の手根骨の分化増大をX線像で判読することは困難であった。副手根骨の骨核は生後20～25日齡で出現，さらに1～2ヵ月齡で副骨核が出現した。副骨核は4～4.5ヵ月齡で骨核と癒合し，成熟骨の形態になった。

中手骨 - 第3中手骨：中手骨の骨幹は，すべて出生時すでに存在した。骨端核は生後18～25日齡で遠位端に出現し，8～9ヵ月齡で骨幹と癒合した。

指骨：すべての指骨は，出生時に認めることができた。

2. 後肢骨の發育

大腿骨：大腿骨の骨幹は，出生時に存在す

る。近位端の骨端核は生後3~8日齢に出現し、6.5~7ヵ月齢で骨幹と癒合する。大腿骨近位端では大転子骨端核が33~43日齢に、小転子骨端核が33~53日齢にそれぞれ出現したが、その發育をX線像で判読することは困難であった。大腿骨遠位端では生後3~8日齢で内側顆骨核と外側顆骨核の二つが出現、6.5~7ヵ月齢で骨幹と癒合した。

膝蓋骨：膝蓋骨の骨核は生後45~65日齢で出現した。付加的な副骨核の出現は認められなかった。

脛骨：骨幹は出生時化骨済みである。骨核は近位端に10~15日齢で、また、30~50日齢で脛骨粗面にそれぞれ出現した。脛骨粗面の骨核は4~6ヵ月齢で近位端の骨核と癒合し、近位端の骨核は15ヵ月齢前後で骨幹に癒合した。一方、遠位骨端では、生後15日齢前後に骨端核が出現し、6~9ヵ月齢で骨幹に癒合した。

腓骨：骨幹は出生時に存在していた。腓骨

近位の骨端核は、30～40日齢で出現し、5.5～7ヵ月齢で骨幹と癒合した。遠位の骨端核は、生後20～25日齢で出現し、9ヵ月齢前後に骨幹と癒合した。

足根骨—踵骨：出生時化骨ずみであった足根骨は踵骨と距骨であった。すべての足根骨の発育をX線像で判読することは困難であった。踵骨の骨核は出生時に存在しており、副骨核が25～40日齢で出現した。それは7ヵ月齢前後で骨核と癒合し、成熟骨の形態となった。

中足骨—第3中足骨：中足骨の四つの骨幹は出生時にすでに存在した。骨端核は生後20～25日齢で遠位端に出現し、9ヵ月齢前後で骨幹と癒合した。

趾骨：すべての趾骨は出生時に存在していた。

ネコの各日月齢における四肢骨格の発育過程を、骨端核のX線に対する透過性および骨端と骨体の癒合状態によって知ることができ

た。その骨化の順序はTable 18に示した通りである。

第II章 正常骨格発育の組織学的所見

四肢骨のような長管骨の骨形成は、まず骨幹で骨化がおこり、ついで骨端に軟骨内骨化がおこる。これが骨端核である。骨幹と骨端核の間は軟骨の状態に成長帯 (growth zone) — X線学的には骨端線] を永くつづけ、両者が完全に骨化し、癒合して成熟骨となる。

成長途上の骨は骨端、成長帯、骨幹端、骨幹を区別することができる。このうち、骨端から骨幹端への移行部に存在する成長帯は、軟骨残余帯 (zone of resting cartilage)、細胞増殖帯 (zone of cell proliferation)、成熟細胞帯 (zone of cell maturation) および石灰沈着帯 (zone of calcification) の四つに区別される [67]。

骨の長軸方向への伸びは、とくに成長帯における細胞増殖帯で細胞が増殖し、増殖した細胞が片端から肥大して肥大軟骨を形成し、ついで石灰化して骨小柱に変わってゆくことを

続けるからである〔3〕。

前章においては、X線学的にネコの四肢骨の骨化の過程を検索した。本章ではX線像で検索できない成長途上の骨の発育に大きく関与する、成長帯の骨化の過程を、上腕骨頭で組織学的に検索した。

第1節 実験材料および実験方法

第1項 実験材料

組織検索に供したネコは、前章でX線撮影に供したもののうち、解剖を許可された生後1日齢から24ヵ月齢までの33頭である。それは1日齢、3頭、3日齢、2頭、5日齢、3頭、6日齢、1頭、7日齢、2頭、8日齢、2頭、10日齢、2頭、14日齢、1頭、20日齢、2頭、21日齢、2頭、30日齢、2頭、40日齢、2頭、60日齢、2頭、63日齢、2頭、3ヵ月齢、1頭、7ヵ月齢、2頭、12ヵ月齢、1頭および24ヵ月齢、1頭である。

第2項 実験方法

組織検索には、左側上腕骨を採材、10%中性ホルマリン液で固定し、骨頭で骨端核を含むように、骨を正中面で縦断して切り出した。切り出した組織片は、10%リン酸緩衝ホルマリン液で再固定し、その後、RDO脱灰液にて5~10数時間浸漬し、脱灰した。脱灰後、水洗し、所定の組織標本作製に従ってパラフィン包埋した。パラフィン・ブロックを5 μ mに薄切し、薄切標本は脱パラフィン後、EHR-LICHの酸性ハマトキシリンエオジン重原染色を施し、組織標本として鏡検した。

上腕骨頭組織標本の計測は、成長帯における軟骨残余帯、細胞増殖帯、成熟細胞帯および石灰沈着帯の帯幅を、各例3カ所ずつ無作為に選び、デジタル顕微鏡を使用し計測した。3カ所の計測値は算術平均として実測値とした。なお、軟骨残余帯は関節面から骨端核外側縁の軟骨残余帯（I層）、軟骨細胞増殖帯および成熟細胞帯を含む骨端核部分

(Ⅱ層), 骨端核内側縁の軟骨残余帯(Ⅲ層)の3層に區別して計測した。

第2節 実験成績

ネコの加齢に伴う骨成長帯の変化を, 上腕骨頭を用い組織学的に計測した。

第1項 骨軟骨接合部の組織像

上腕骨頭における骨軟骨接合部の組織像は Figure 18~28 に示した通りであり, その成長帯は次の四つに区分できた。

軟骨残余帯: 関節面に接し, 骨端軟骨表層あるいは骨幹と骨端核の間に存在し, かつ不規則に散在する小型の軟骨細胞より成っている。

細胞増殖帯: 軟骨細胞は軟骨残余帯のそれらより大きく, 細胞はほぼ骨幹の縦軸に沿って, あるいは骨端核において, 放射状に円柱状に配列している。多くの核分裂像を現わしている。

成熟細胞帯：軟骨細胞は増殖細胞帯のそれらよりさらに大きく包状を示し、細胞の配列状態も増殖細胞帯のそれらと同じであるが、より整然としている。

石灰沈着帯：比較的薄い層で1～4層の軟骨細胞から成る。ほとんどの軟骨細胞は変性壊死の変化を示し、死滅状態である。この崩壊していく円柱状配列細胞における間質（軟骨芯）には石灰化がみられ、隔壁形成となっている。骨芽細胞は隔壁に沿って単層に配列し、化骨帯における骨形成にあずかる。なお、軟骨芯は骨端軟骨における軟骨細胞間質に続いている。

以上のような4帯の区分は、骨幹端（骨軟骨接合部）において明らかであった。

第2項 加齢に伴う成長帯の組織所見

上腕骨頭の骨軟骨接合部の加齢に伴う組織像を Figure 18～28に、また成長帯における4帯の実測値を Table 19に、またそのグラフを

Figure 17に示した。

1日齡の所見：骨端軟骨内には骨端核の出現はない。成長帯の帯幅は，軟骨残余帯 $1850.54\mu\text{m}$ (56.99%)，細胞増殖帯 $638.16\mu\text{m}$ (19.65%)，成熟細胞帯 $318.79\mu\text{m}$ (9.82%)，石灰沈着帯 $439.71\mu\text{m}$ (13.54%)であった。とくに石灰沈着帯は3~4層を示している。

5日齡の所見：軟骨内には骨端核が出現している。軟骨残余帯の帯幅はI層 $635.95\mu\text{m}$ (19.60%)，II層 $769.20\mu\text{m}$ (23.71%)，III層 $616.72\mu\text{m}$ (19.01%)，細胞増殖帯 $583.56\mu\text{m}$ (17.99%)，成熟細胞帯 $288.19\mu\text{m}$ (8.88%)および石灰沈着帯 $350.57\mu\text{m}$ (10.81%)で，とくに細胞増殖帯，成熟細胞帯および石灰沈着帯の帯幅の比率は大きい。

10日齡の所見：成長帯の帯幅は軟骨残余帯I層 $442.10\mu\text{m}$ (12.73%)，II層 $1522.06\mu\text{m}$ (43.53%)，III層 $382.36\mu\text{m}$ (11.04%)，細胞増殖帯 $419.32\mu\text{m}$ (12.03%)，成熟細胞帯 $337.28\mu\text{m}$ (9.74%)および石灰沈着帯 $378.24\mu\text{m}$ (10.88

%) であり、細胞増殖帯、成熟細胞帯および石灰沈着帯の帯幅の比率は発育過程の中で一番大きかった。石灰沈着帯の細胞配列は3~4層であった。

20日齡の所見：成長帯の帯幅は軟骨残余帯 I層 $352.46\mu\text{m}$ (9.35%)， II層 $2376.22\mu\text{m}$ (63.03%)， III層 $231.25\mu\text{m}$ (6.14%)， 細胞増殖帯 $256.74\mu\text{m}$ (6.81%)， 成熟細胞帯 $238.98\mu\text{m}$ (6.34%)， 石灰沈着帯 $313.99\mu\text{m}$ (8.53%) であった。

30日齡の所見：軟骨残余帯 I層 $240.43\mu\text{m}$ (5.74%)， II層 $2840.85\mu\text{m}$ (67.23%)， III層 $135.33\mu\text{m}$ (3.24%)， 細胞増殖帯 $328.95\mu\text{m}$ (7.91%)， 成熟細胞帯 $334.05\mu\text{m}$ (7.93%) および石灰沈着帯 $334.87\mu\text{m}$ (7.95%) であり、増殖細胞帯、成熟細胞帯および石灰沈着帯の帯幅はほとんど同じであった。石灰沈着帯の細胞配列は3~4層であった。

40日齡の所見：各帯幅は軟骨残余帯 I層 $116.87\mu\text{m}$ (2.97%)， II層 $3448.18\mu\text{m}$ (74.16%)，

Ⅲ層 $136.84\mu\text{m}$ (2.55%), 細胞増殖帯 $334.46\mu\text{m}$ (7.25%), 成熟細胞帯 $259.78\mu\text{m}$ (5.66%) および石灰沈着帯 $320.92\mu\text{m}$ (6.96%) であり、骨端核の発育に伴い、軟骨残余帯Ⅱ層の帯幅は増加したが、その他の帯幅は減少した。石灰沈着帯の配列は1~2層となった。

60日齡の所見：成長帯の帯幅は、軟骨残余帯Ⅰ層 $183.51\mu\text{m}$ (3.71%), Ⅱ層 $3618.37\mu\text{m}$ (72.47%), Ⅲ層 $124.19\mu\text{m}$ (2.53%), 細胞増殖帯 $426.83\mu\text{m}$ (8.60%), 成熟細胞帯 $290.69\mu\text{m}$ (5.86%), 石灰沈着帯 $341.71\mu\text{m}$ (6.83%) であった。

3ヵ月齡の所見：軟骨残余帯Ⅰ層 $150.59\mu\text{m}$ (2.37%), Ⅱ層 $5408.44\mu\text{m}$ (84.97%), Ⅲ層 $92.24\mu\text{m}$ (1.45%), 細胞増殖帯 $292.23\mu\text{m}$ (4.59%), 成熟細胞帯 $123.88\mu\text{m}$ (1.95%) および石灰沈着帯 $306.92\mu\text{m}$ (4.67%) であり、成長帯における細胞増殖帯、成熟細胞帯および石灰沈着帯の各帯幅の比率は著しく減少した。

7ヵ月齡の所見：各帯幅は軟骨残余帯Ⅰ層

133.48 μm (1.98%), II層 6031.89 μm (89.09%), III層 89.65 μm (1.47%), 細胞増殖帯 204.62 μm (3.01%), 成熟細胞帯 77.91 μm (1.16%), 石灰沈着帯 222.45 μm (3.29%) で, その比率は3ヵ月齢時よりさらに減少した。

12ヵ月齢の所見: 骨端核はさらに増大。成長帯の帯幅は, 軟骨残余帯 I層 87.06 μm (1.47%), II層 5497.27 μm (92.87%), III層 15.62 μm (0.26%), 細胞増殖帯 135.20 μm (2.30%), 成熟細胞帯 27.64 μm (0.50%) および石灰沈着帯 153.85 μm (2.60%) であり, 成熟細胞はほとんどない。

24ヵ月齢の所見: 成長帯を区別することはできず, 成長帯は骨によって置換されていた。

第3項 X線所見と組織所見との比較

上腕骨頭の発育をX線所見と組織所見で比較検討してみると, 骨端軟骨内の骨端核が固有の形態を表わすようになる, 生後30日齢ころまでは, 成長帯における増殖細胞および石

灰沈着帯の帯幅が大きく、とくに石灰沈着帯の細胞配列は3~4層を示すが、その後1~2層となった。

また、X線所見で骨端核の幅と骨幹の幅が一致する生後約3ヵ月齢ころまでは、組織学的には成長帯における細胞増殖帯、成熟細胞帯および石灰沈着帯の各帯幅の比率が大きかった。しかし、その後骨端核の増大に伴い、細胞増殖帯、成熟細胞帯および石灰沈着帯の帯幅は減少した。X線所見で骨端線の消失する12ヵ月齢前後には成熟細胞はほとんど認められなくなり、細胞増殖帯と石灰沈着帯のみとなった。24ヵ月齢ではX線学的にも組織学的にも成熟骨の所見となった。

第3節 小括

成長途上の骨の発育に関与する、成長帯(軟骨残余帯、細胞増殖帯、成熟細胞帯および石灰沈着帯)の骨化の過程を上腕骨頭を用い、その帯幅を計測し、組織学的に検索した。

ネコの上腕骨頭においても成長帯は明らかに軟骨残余帯、細胞増殖帯、成熟細胞帯および石灰沈着帯の四つに区別することができた。

その帯幅は、X線所見で骨端核固有の形態が認められる生後30日齢までは、細胞増殖帯および石灰沈着帯の比率が著しく大きく、とくにこの時期までの石灰沈着帯の細胞配列は3~4層を示したが、その後は1~2層となった。また、X線所見で骨端核が骨幹の幅に一致する生後3~4ヵ月齢以降では、細胞増殖帯、成熟細胞帯および石灰沈着帯の比率が減少した。

上腕骨頭における骨成長帯は骨幹端および骨端核辺縁部で見られ、その成長度合は骨幹端、骨端核辺縁部の関節面に面する部分および骨端核辺縁部の骨幹側に面する部分の順であった。

X線所見における骨端核の発育と組織所見での成長帯の骨化の過程は、ほぼ一致した。

第三章 総括ならびに考察

骨の成長は、動物の成長の指標の一つとして、その重要性は多くの人に認められている。清水〔19〕は、生物学的時間を知る上で信頼度の高いものとして骨年齢を上げている。したがって、ネコにおいても骨の成長の観察は、成長あるいは成熟を知る上で有効な指標となり得ると思われた。

ヒトの骨年齢の評価は、全身の骨格の発育状態が腕関節の骨の骨化に反映される〔18〕という理由から、腕関節を用いて検討される場合が多い。ヒトでは腕関節を構成する骨の成長をX線写真で観察することは比較的容易であるが、ネコのような小動物では、その判読は困難である。本研究では、四肢骨格の発育を比較的容易に判読できると思われた、前後肢骨の17種の骨端核の骨化を選んだ。

一般に骨核は、骨幹の骨核と骨端の骨端核としてみられるが、骨幹の骨核の出現がみら

れるのはほとんど胎児期であり、骨端の骨核がみられるのは多くの場合出生後である。そこで出生後に観察されるのは、骨端の骨端核の出現および発育である。

骨核の発生学的な検討は多くの人によって試みられているが、佐藤〔68〕は骨核の出現とその発育の速度と方向は厳密に法則的、恒常的であると述べている。同様に VAUGHAN〔69〕はそれぞれの骨端核の出現とその後の発育は、かなり決ったパターンと時間的経過をとると述べている。彼らの意見は全く一致しており、骨端核の発育を観察することは意義のあることを示している。

ヒトの骨端核の出現、癒合完成時期の検討は、多くの詳細な報告があり、ヒトの骨の成長の完成時期がほぼ18～22歳であることが知られている〔48〕。またサル〔47〕、イヌ〔9, 49, 56〕、ネコ〔54, 55〕等の小動物についても報告されている。

実験結果から、日本産家猫における骨端核

の出現は、上腕骨頭で最も早く、7日齢にはすべての個体で認められた。ついで上腕骨遠位端、大腿骨頭、大腿骨遠位端、胫骨近位端でいずれも15日齢までに出現した。SMITH[8]も子宮外生活の最初の週末で約半数のネコは、上腕骨の近位骨端をもっていたと報告しており、ネコにおいて最も早く出現する骨端核は上腕骨頭であることは著者の結果と一致した。

15日齢以降に出現が認められた骨端核は、胫骨遠位端、橈骨近位端、橈骨遠位端、尺骨遠位端、中手骨遠位端、腓骨遠位端、中足骨遠位端で、15~20日齢までの比較的短期間に出現した。さらには尺骨頭、腓骨近位骨端核が20~30日齢で出現したが、上腕骨、大腿骨など早期に骨端核の出現するものに比べ約15日遅れて認められる。このような骨端核の出現の時期はSMITH[8]の報告に比べ5~10日齢早い。このことはSMITHが実験に供したネコは、研究室内の閉鎖環境下で、しかも一定の飼料で飼育・管理されたものであるのに

対し、著者が実験に供したネコは、自由な環境下で飼育・管理されていることの違いによるところが大であると推察される。

MERCER [70] は、骨端を圧迫力を受ける骨端、牽引力を受ける骨端および還元遺伝性骨端の3種類に分類している。このことと骨端核の出現の時期について考えると、圧迫力を受ける骨端ほど、その時期は早く、また、遠位骨端よりも近位骨端の方が早いことがわかった。このような現象は一木 [9] のビーグルでの研究結果と一致しており、各骨の機能的発育と対応して考えると興味深い問題である。

前述したが、ヒトでの骨端核の出現とその発育にはかなり決ったパターンがあるとしているが、ネコでは必ずしもそのようなことは言えない。それはネコの発育（体重増加）が極めて短時日であることに関係するものと思われる。しかしながら、骨端核の出現には遅速の差はあるが、各骨の骨端核固有の形態は、

いずれの部位においてもおおむね3ヵ月齡前後でほぼ一致していることは興味深いことである。また、この時期は組織学的にみると成長帯において、とくに細胞増殖帯、成熟細胞帯および石灰沈着帯の帯幅の比率がほぼ安定する時期にも一致している。

骨端核と骨幹の癒合が完成する時期は、上腕骨遠位端で最も早く、ついで橈骨遠位端、大腿骨頭、腓骨遠位端で7ヵ月齡以内であった。SMITH [64] は、生後4~7ヵ月齡の間に骨端が癒合するのは上腕骨遠位骨端と橈骨近位端であったとし、なかでも最も早く癒合したのは上腕骨遠位端であったと述べており、著者の結果と一致している。

以下、癒合の順序は中手骨遠位端、脛骨遠位端、腓骨遠位端、中足骨遠位端で、9~10ヵ月齡の間に行われる。

癒合の遅い骨端は、大腿骨遠位端、上腕骨頭で12ヵ月齡前後で、さらには、脛骨近位端、橈骨遠位端、尺骨遠位端では15ヵ月齡までに

癒合する。SMITH [64] は最も遅い群の骨端は14~20ヵ月齡の間に癒合する。この群に属する骨端は、胫骨近位端、腓骨近位端、大腿骨遠位端、橈骨遠位端、尺骨遠位端および上腕骨近位端などであり、相互間の癒合の順序は不同であるが、遅く癒合する骨端ということではほぼ一致している。すなわち、著者の結果は、SMITH [64] の結果よりも骨成長完了の時期が2~5ヵ月早かった。この差は野外例と実験例との違いによるものであると考える。

骨端核の癒合、すなわち骨端線の閉鎖について SILBERBERG ら [71] は、マウスについて骨端線を中心とした組織像を年齢を追って詳細に観察しているが、ネコでの報告はみあたらない。そこで著者は、骨端核の出現が最も早く、反対にその癒合が比較的遅い、上腕骨頭の加齡に伴う骨成長帯の帯幅の変化を組織学的に計測して検討した。

上腕骨頭での骨成長帯の帯幅は、生後3~

4ヵ月齢まで、細胞増殖帯、成熟細胞帯、石灰沈着帯の比率が大きく、骨は急速に發育していることがわかった。その後、この3帯の帯幅は安定する。この時期はX線所見で骨端核が固有の形態となる時期に一致している。

骨の長軸方向への伸びは、成長帯の変化に関与するところが大きいであるが、ネコの上腕骨頭では、骨成長帯は骨幹端および骨端核辺縁部で見られ、その成長の度合は骨幹端、骨端核辺縁部の関節面に面する部分および骨端核辺縁部の骨幹側に面する部分の順であることを知った。また、生後約30日齢ころまで、細胞増殖帯および石灰沈着帯の比率は大きく、とくにこの時期までの石灰沈着帯の細胞配列は3~4層を示すが、その後は1~2層となることを知った。この時期はX線所見で骨端核が固有の形態を現わすようになる時期に一致していた。

DELLMANN ら〔67〕は、性成熟の見地より家畜において骨端線は大体、発情期が始まる

年齢まで存在し、以後、骨によって置換されるとしているが、著者の成績では骨成熟は性成熟の時期より明らかに遅く、江口〔4〕の骨幹と骨端の間の骨端線が完全に骨化して癒合するのは、成体になってから後であるとする説が正しいと考える。このことはとくに実験動物分野でネコを成猫として扱う場合などに留意すべき問題であると考ええる。

著者はX線学および組織学的に、日本産家猫の骨成熟は15~18ヵ月齢であると考ええる。

以上の成績から、著者は日本産家猫における四肢骨格発育の順序をTable 18に総括した。これはネコにおける骨年齢評価の指針になるものと確信する。

著者の得た骨成長に関する結果は、SMITH〔64〕の骨成長完了の時期よりも早い。この差は野外例と実験例との相違によるものと思われる。野外例のネコについて加齢に伴う骨端核の骨化の過程を、とくにX線学的に明らかにしたことは、種々の骨疾患の診断、治療

に多大の意義があり、予後判定には、とくに重要な指針となるものと考えらる。

結 論

ネコにおける骨格発育の年齢評価指針を確立することを目的として、生後1日齢から24ヵ月齢の日本家猫206頭を用いて、骨端核の発達を四肢骨9種、骨端核17種についてX線撮影を行い、さらに上腕骨近位端部の成長帯の加齢に伴う変化を組織学的に検討し、つぎのような結果を得た。

- 1). 骨端核の出現は上腕骨頭が最も早く、7日齢にはすべての個体に認められた。これにつぐのは上腕骨遠位端、大腿骨頭、大腿骨遠位端、胫骨近位端で、いずれも15日齢までに出現を認めた。
- 2). 15日齢以降に出現が認められたのは、胫骨遠位端、橈骨近位端、橈骨遠位端、尺骨遠位端、中手骨遠位端、腓骨遠位端、中足骨遠位端で15～20日齢であった。
- 3). 尺骨頭、腓骨近位端骨端核の出現は20～30日齢で、上腕骨、大腿骨などに比バ

約15日遅れて認められた。

- 4). 骨端核の出現の時期は、圧迫力を受ける骨端ほど速やかであり、また、遠位骨端より近位骨端が早い。
- 5). 骨端核の出現には遅速の差があるが、各骨核が骨端核固有の形態を現わすのは、いずれの部位においても3ヵ月齢前後でほぼ一致した。
- 6). 骨端核と骨幹の癒合が完成する時期は、上腕骨遠位端で最も早く、ついで橈骨遠位端、大腿骨頭、腓骨遠位端で7ヵ月齢以内で、さらには中手骨遠位端、胫骨遠位端、腓骨遠位端、中足骨遠位端で、いずれも9~10ヵ月齢で癒合した。
- 7). 大腿骨遠位端、上腕骨頭は12ヵ月齢前後で、胫骨近位端は15ヵ月齢で、そして、橈骨遠位端、尺骨遠位端は15~18ヵ月齢で癒合した。
- 8). 上腕骨頭での骨成長帯における細胞増殖帯および石灰沈着帯は、生後約30日齢

まで、その比率は大きく、とくにこの時期までの石灰沈着帯の細胞配列は3~4層を示すが、その後は1~2層となる。

- 9). 生後3~4ヵ月齢以降では、細胞増殖帯、成熟細胞帯、石灰沈着帯の比率が減少する。
- 10). 骨成長帯は骨幹端および骨端核辺縁部で見られ、その成長度合は骨幹端、骨端核辺縁部の関節面に面する部分および骨端核辺縁部の骨幹側に面する部分の順であった。
- 11). X線像でわずかな骨端線の認められる12ヵ月齢前後でも、組織学的には明らかに成長帯が認められた。
- 12). 骨成熟は性成熟より明らかに遅い。
- 13). X線学的および組織学的に、日本産家猫の骨成熟は15~18ヵ月齢である。

謝 辞

稿を終えるに臨み、終始懇切なるご指導を賜った麻布大学
農学博士 北 昂教授に深甚なる感謝の意を表するとともに、
ご援助とご指導をいただいた同大学 獣医学博士 杉浦邦純教
授、医学博士 鹿野 胖教授、獣医学博士 高橋 貢教授に深
甚なる感謝の意を表します。なお、本研究にご協力いただいた
同大学 獣医学博士 小方宗次講師、獣医学博士 菅沼常徳講
師、獣医学士 山本博史助手はじめ、研究生諸氏に并して心か
らお礼を申し上げます。

また、組織標本作成にご援助を賜った日本中央競馬会 競走
馬総合研究所 病理研究室 獣医学博士 桐生啓治室長、獣医
学士 吉原豊彦研究員はじめ、研究室の諸氏に深謝いたします。

参 考 文 献

- [1] Acheson, R.M. (1954). A method of assessing skeletal maturity from radiographs. *J. Anat.*, 88, 498-508.
- [2] Anderson, A.E. (1963). Growth and development of the femur in the beagle. *Am. J. Vet. Res.*, 24, 348-351.
- [3] Asdell, S.A. (1964). *Patterns of Mammalian Reproduction*, 2nd Ed. Cornell Univ. Press, Ithaca, N.Y..
- [4] Boyd, J.S. (1968). Radiographic appearance of the centers of ossification of the limb bones's the feline foetus. *Brit. Vet. J.*, 124 (9), 365-370.
- [5] Bresson, C., Pomriaskinsky-Kobozieff, N.A. and Kobozieff, N. (1959 a). *Reel Méd. Vét. Éc. Alfart*, 135, 547-563.
- [6] Bresson, C., Pomriaskinsky-Kobozieff, N.A. and Kobozieff, N. (1959 b). *Reel Méd. Vét. Éc. Alfart*, 135, 611-618.
- [7] Catcott, E.J. (Editor) (1964). *Feline Medicine*, Amer. Vet. Public. Inc., Wheaton, Ill..

- [8] Cole, H.H. and Cupps, P.T. (1969). *Reproduction in Domestic Animals*, 2nd Edition, Academic Press, N.Y.C..
- [9] Dellmann, H.D. and Brown, E.M. (1976). *Textbook of veterinary histology*. Lea & Febiger. Philadelphia, 68-74.
- [10] 江口保場 (1979). 家畜発生学, 文永堂, 東京, 136-143.
- [11] 藤浪剛一 (1912). 手根骨の化骨について「レントゲン」学によれる研究. 中外医法, 797.
- [12] 深堀清彦 (1924). 日本人小児の肘関節を組立てる骨の化骨期並びに発育状態についての「レントゲン」研究. 成医月報, 459.
- [13] 深堀清彦 (1924). 日本人小児の手根骨化骨期並びに発育状態についての「レントゲン」研究. 成医月報, 478.
- [14] 深堀清彦 (1927). 「レントゲン」撮影における管状骨々端並びに其の他の化骨期の研究. 成医学雑誌, 491.
- [15] 福田 俊・富田静男・松岡 理 (1977). 骨の成長に関する比較実験動物学的研究第1報, マウスにおける骨の成長と骨化. 実験動物, 26 (2), 103-113.
- [16] Garn, S.M., Sanudsky, S.T., Miller, R.L. and Nagy, J. M. (1972). *Developmental implication of dichoyomous*

- ossification sequences in the wrist region. *Am. J. Phys. Anthrop.*, 37, 111-116.
- [17] Greulich, W.W. & Pyle, S.I. (1950). Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. Stanford. Univ. Press.
- [18] Guffy, M.M., Bergin, W.C. and Gier, H.T. (1970). Radiographic Fetometry of the Horse. *The Cornell Veterinarian*, 50, 359-371.
- [19] Hare, W.C.D. (1960). Radiographic anatomy of the canine pelvic limb. *J.A.V.M.A.*, 136, 603-611.
- [20] Hare, W.C.D. (1961). Radiographic anatomy of the cervical region of the canine vertebral column. Part I. Fully developed vertebrae. *J.A.V.M.A.*, 139, 209-216.
- [21] Hare, W.C.D. (1961). Radiographic anatomy of the cervical region of the canine vertebral column. Part II. Developing vertebrae. *J.A.V.M.A.*, 139, 217-220.
- [22] Hare, W.C.D. (1961). The age at which the centers of ossification appear roentgenographically in the limb bones of the dog. *Am. J. Vet. Res.*, 22, 825-835.

- [23] Harris, W.H., Haywood, E.A., Larorgna, J. and Hamblen. D.L. (1968). Spatial and Temporal variations in cortical bone formation in dogs. *J. Bone & Joint Surg.*, 50-A, 1118-1128.
- [24] Hertsch, B. (1980). Die Ossifikationsvorgänge am Kniegelenk beim jungen Pferd. *261. Vet. Med. A.*, 27, 279-289.
- [25] 一木彦三 (1976). 正常骨格発育のX線学的観察. 実験用ビーグルの研究, 福井正信・友田 勇・上田雄幹編, ソフトサイエンス社, 東京, 119-174.
- [26] 加藤又市 (1937). 肘関節の生理的過伸展性及び肘関節部化骨核の線学的研究並びに之と上膊骨下端伸展性類上骨折との関係. *日整会誌*, 12, 81.
- [27] Joshua, J. (1964). *Feline Geriatrics*, *Jour. Small An. Pract.*, 5, 525.
- [28] 古賀良彦・入江英雄 (1967). 放射線診断学, 南山堂, 東京, 7.
- [29] Köhler, A. (1928). *Roentgenology*. New York, William Wood & Company. 1.
- [30] Maccallum, F.J., Latshaw, W.K. and Kelly, R.E. (1970). Identification of postnatal ossification sites : A

contribution to radiographic interpretation. *Br. Vet. J.*, 127, 83-87.

- [31] 真島英信 (1979). 生理学, 第17版, 文光堂, 東京, 1-590.
- [32] 松原茂平 (1931). 幼駒の化骨點に関する研究. *日獣会誌*, 12(1), 1-12.
- [33] McDonald, L.E. (1969). *Veterinary Endocrinology and Reproduction*, Lea and Febiger, Philadelphia, Pa..
- [34] Meikle, M.C. (1975). The influence of function on chondrogenesis at the epiphyseal cartilage of a growing long bone. *Anat. Rec.*, 182, 387-400.
- [35] Menees, T.O. & Holly, L.E. (1932). Ossification in extremities of the new bone. *Am. J. Roentgenolog. & Rad. Therapy*, 28, 389.
- [36] Mercer, Sir Waltel. (1959). *Orthopaldic Surgery*, 5th ed. Edward Arnold Ltd., London.
- [37] Meschan, I. (1975). *An atlas of anatomy basic to radiology*. Saunders Company, Philadelphia, 36-63.

- [38] Miller, M.E. (1965). Anatomy of the dog. W.B. Saunders, Company, Philadelphia, 1-6.
- [39] 南 正夫 (1929). 肘関節を形成する各骨端核の発現期並びに化骨期に就いてレ線的検索. 日整会誌, 3, 361.
- [40] 御園生毛輔・宮川 正・気駕正巳・斎藤達雄・田坂 皓 (1970). X線診断学, 第10版, 文光堂, 東京, 447-514.
- [41] 村本健一 (1964). 肘関節部レ線像に依る骨年齢評価法. 日整会誌, 38, 939.
- [42] 小儀 昇, 谷 達雄, 福田 俊, 田坂邦安, 一木彦三 (1974). 犬の骨格発育に関するX線写真による観察, Beagleの四肢骨格の発育について. 第78回日本獣医学会講演要旨, 122.
- [43] 大和田建二・Sutow, W. W. (1953). 満6歳から19歳迄の日本健康小児の骨格成熟標準 (骨年齢標準) に就て. 小児科臨床, 6 (11), 738-746.
- [44] Parcher, J.W. and Williams, J.R. (1970). Ossification, The Beagle, 158-161.
- [45] Pryor, J.W. (1905). Ossification of the epiphysis of the hand. Bull. Univ. Kentucky, 8, 1.

- [46] Pryor, J.W. (1923). Differences in the time of development of the centers of ossification in the male and female skeleton. *Anat. Rec.*, 25, 252.
- [47] Pryor, J.W. (1933). Roentgenographic investigation of the time element in ossification. *Am. J. Roentgenolog. & Rad. Therapy*, 24, 789.
- [48] Ranke. (1896). "Über die ossifikation vorgänge Munch." *Med. Wochenschr.* 43, 686.
- [49] 佐藤幸雄 (1967). 家畜の発生解剖要説, 学窓社, 東京, 186.
- [50] Schaeffer, H. (1932). *Morph. Jb.*, 70, 548-600.
- [51] Silberberg, M.S. and Silberberg, R. (1941). The age changes of bones and joints in various strains mice. *Am. J. Anat.*, 68, 69-95.
- [52] 清水三雄 (1957). 動物の成長—動物形態学的の一面—, 北隆館, 東京, 109 128.
- [53] Smith, R.N. (1964). The pelvis of the young dog. *Vet. Rec.*, 76, 975-979.
- [54] Smith, R.N. (1968). Appearance of Ossification Centers in the kitten. *J. small Anim. Pract.*, 9, 497-511.

- [55] Smith, R.N. (1969). usion of Ossification centers in the Cat. J. small Anim. Pract., 10, 523-530.
- [56] 杉浦保夫・中沢 修 (1972) . 骨年齢一骨格發育の X線診断一 . 中外医学社, 東京, 1-438 .
- [57] 諏訪 瑛三 (1967) . 四肢骨端レントゲン像と年齢 . 総合臨床, 16, 229-241 .
- [58] 田島 宝 (1964) . 膝関節部レ線像に依る骨年齢評価法 . 日整会誌, 38, 791 .
- [59] 田島 宝 (1966) . 骨年齢評価法の進展, 骨盤部 X一線における腸骨稜骨端核および坐骨結節骨端核の發育過程追及による骨年齢評価法 . 日整会誌, 39, 1015 .
- [60] Todd, T.W. (1937). Atlas of skeletal maturation (Hand). St. Louis. The C. V. Mosby Company.
- [61] 戸 刈近太郎 (1955) . 組織学, 第2版 . 南山堂, 東京, 210-223 .
- [62] 戸 刈近太郎・伊藤 隆 (1977) . 組織学, 第17版 . 南山堂, 東京, 263-276 .
- [63] 戸原三郎 (1950) . 馬駝骨格の化骨に関する X線学的研究 . 日獣学誌, 12 (1) , 1-12 .

- [64] 戸原三郎，和賀井文作，宮川 正（1951）．綿羊の化骨に関するX線学的研究．第33回日本獣医学会講演要旨，361．
- [65] U.F.A.W.Handbook on the care and Management of Laboratory Animals (1967). 3rd Ed., Edit. by U.F.A.W.Staff, E.S.Livingston Ltd., Edinburgh and London, 512.
- [66] Van Wargenen, G. and Asling, C.W. (1958). Roentgenographic estimation of bone age in the rhesus monkey (*macaca mulatta*). *Am. J. Anat.*, 103, 163-186.
- [67] Vaughan, J.M. (1975). *The physiology of bone*. Clarendon Press. Oxford., 216-217.
- [68] Wilsman, N.J. and van Sickle, D.C. (1970). The Relationship of cartilage canals to the initial osteogenesis of secondary centers of ossification. *Anat. Rec.*, 168, 381-392.
- [69] 与那嶺久雄，石川 俊，田坂邦安，一木彦三（1976）．犬の骨格発育に関するX線写真による観察，ビーグルの四肢端骨格の発育について，第82回日本獣医学会講演要旨，187．
- [70] Yonamine, H., Ogi, N., Ishikawa, T. and Ichiki, H. (1980). Radiographic Studies on Skeletal Growth of the Pectral Limb of the Beagle. *Jpn. J. Vet. Sci.*, 42 (4), 417-425.

- [71] 吉田光平，上田八尋，長沢良信，益満宏行，藤井良和，野呂寛治（1980）．ウマの尺骨頭と踵骨X線像による骨年齢評価の試み．第90回日本獣医学会講演要旨集，234．

Radiographic and Histological Studies
on Bone Growth in Japanese Domestic Cats

Tatsuo SUZUKI

The skeleton in vertebrate animals has an important function in that it supports and protects the structure of the body. In the process of development of bony tissue most of the skeleton, that is the bones of the trunk, legs, etc., physiologically begin to develop from cartilage during the embryonic period. During the period of growth, then, the epiphyseal nucleus appears at a certain site at a certain time. It differentiates and enlarges so as to fuse with the diaphysis. This fusion is called an epiphyseal line. The line disappears, and the bone matures at a certain time. The radiographic diagnosis of bone is necessary to understand the complicated process of development and growth of the skeleton regarding the site, appearance of and time of fusion of the epiphyseal nucleus.

When radiographic diagnosis is clinically necessary for small animals, it mainly involves examination of the skeleton. Especially, in the case of orthopedic diseases, radiographs of the skeleton of young

animals during the period of growth are always used in diagnosis because they reveal the different sizes of bone, degrees of ossification of bone, and different images.

Usually, 7- to 12-month-old cats which have reached maturity are treated as adult animals both clinically and experimentally, but the skeleton at that age is not completely mature. Therefore, it is inappropriate to consider animals as adults on the basis of sexual maturity. Animals with a mature skeleton should be considered as adults.

It is well known that bone growth is an important index for determining the development of animals. Also, bone age is a reliable index for determining biological time.

The most applicable method for estimating bone age is to observe radiographically the growth process of the skeleton in accordance with aging, that is, the appearance of the epiphyseal nucleus, the differentiating and enlarging process, and the time when the epiphyseal nucleus completes fusion with the diaphysis.

Regarding the growth of the skeleton in accordance with aging, dry human bones have mainly been studied anatomically. Since X-ray was discovered by Roentgen in 1895, there have been many observations of morpholo-

gical changes —from the time of appearance of the epiphyseal nucleus to completion of fusion with the diaphysis —mainly based on the data obtained from radiographs of radiocarpal joints. These observations have revealed that bone growth in man stops when he is 18-22 years old. They also can be applied to studies on the growth of infants and adolescents or to the diagnosis and treatment of various bone diseases.

On the other hand, there have been radiographic studies on the growth of the skeleton in animals such as horses, sheep, dogs, monkeys, rabbits, mice, etc.; especially, there are many reports on such growth in dogs.

There is little information about radiographic studies on the growth of the cat skeleton. Bresson et al. observed the formation of the epiphysis in the long leg bones, Boyd studied the appearance of the center of ossification in the legs in fetal cat skeletons, and Smith studied the appearance and fusion of the epiphyseal nucleus. However, the cats used by these investigators were born in laboratories; that is, they were kept under controlled conditions and were given a steady diet. Therefore, they were different from the cats which the author usually has experience with clinically.

It is known that there are differences in the growth of the skeleton in dogs according to conditions and food. In order to establish a policy for the estimation of skeletal growth when diagnosing pet cats, the author observed radiographs of the leg bones in 206 cats [day to 24 months old. Also, in order to identify each change in radiographic findings, the process of ossification in the growth zone was histologically examined regarding the development of the growing bone in the humeri caput.

Observation of the growth process of the normal skeleton seems not only to reveal bone age but also to provide important basic data for determining nutritional defects and breeding time, for diagnosing bone diseases, and for veterinary orthopedics. Such observation also seems to provide important data when cats are used as experimental animals.

The subjects were 206 Japanese domestic cats (87 males and 119 females) which were not born in laboratories. They were pet cats and were recognized as being healthy clinically. Also, the date of birth was known.

Radiographs of the left foreleg bones (scapula, humeral bone, antebrachial bone, carpal bone, and metacarpal bone) and of the left hindleg bones (femoral bone, leg bone, tarsal bone, and metatarsal bone) were taken anterior-posteriorly and medially.

The criteria for estimating maturity of the epiphyseal nucleus were determined according to Ōwada & Sutow's classification in which the morphological changes in the epiphyseal nucleus from the time of appearance to maturity in accordance with aging are divided into 11 stages (0-10). Since some sites did not always show regular stages, however, new stages were determined.

The histological changes of the epiphysis in accordance with aging were examined in the left humeral caput in 1-, 5-, 10-, 20-, 30-, 40-, and 60-day-old and 3-, 7-, 12-, and 24-month-old cats which were obtained from their owners. The humeral caput was cut longitudinally on a median plane so as to include the epiphyseal nucleus, and thin slices were prepared by a conventional method and were stained with hematoxylin and eosin.

By means of digital micrometry, three sites to every preparation were randomly selected for determination of the width of the growth zone of the epiphysis, which consisted of a zone of residual cartilage, a zone of cell proliferation, a zone of mature cells, and a zone of calcium deposit.

The following results were obtained:

- 1) The epiphyseal nucleus appeared the earliest in

the humeral caput. This finding was observed in all of the 7-day-old cats. Subsequently, it appeared in the distal edge of the humerus, in the femoral caput, in the distal edge of the femoral bone, and in the proximal edge of the tibia. Such findings were observed in all the cats under 15 days of age.

2) The epiphyseal nucleus appeared in the distal edge of the tibia, the proximal and distal edges of the radius, the distal edge of the ulna, the distal edge of the metacarpal bone, the distal edge of the fibula, and the distal edge of the metatarsal bone in the 15- to 20-day-old cats.

3) The epiphyseal nucleus appeared in the ulnar caput and in the proximal edge of the fibula in the 26- to 30-day-old cats and appeared about 15 days later than it did in the humeral bone and the femoral bone.

4) The more the epiphysis was compressed, the earlier the nucleus appeared. In addition, it appeared earlier in the proximal epiphysis than in the distal epiphysis. These phenomena were observed in dogs, and it is interesting to compare the functional growth of each bone between cats and dogs.

5) There was a difference in the time of appearance of the epiphyseal nucleus, but morphological findings peculiar to the epiphysis of each bone were the same

within about 3 months at every site. At that time, the ratios of zone of cell proliferation, the zone of mature cells, and the zone of calcium deposit to the width of the growth zone were constant histologically.

6) The fusion of the epiphyseal nucleus and the diaphysis was completed the earliest in the distal edge of the humerus. Fusion was completed in the distal edge of the radius, the femoral caput, and the distal edge of the fibula, respectively, in the cats less than 7 months old. Fusion was completed in the distal edge of the metacarpal bone, the distal edge of the tibia, the distal edge of the fibula, and the distal edge of the metatarsal bone, respectively, in the 9- to 10-month-old cats.

7) The distal edge of the femoral bone and the humeral caput were fused in the cats under 12 months of age while the proximal edge of the tibia and the humeral caput were fused in the cats 15 months of age. However, the epiphyseal line remained in the distal edge of the radius and the ulna of the cats less than 22 months old.

8) The ratios of the zone of cell proliferation, the zone of mature cells, and the zone of calcium deposit to the width of the zone of bone growth in the humeral caput were high in the 3- to 4-month-old cats.

9) The zone of bone growth was observed in the edge of the diaphysis and in the margin of the epiphyseal nucleus. The degree of growth was high in the diaphyseal edge, in the area facing the articular side of the margin of the epiphyseal nucleus, and in the area facing the diaphyseal side of the margin of the epiphyseal nucleus, respectively.

10) The ratios of the zone of cell proliferation and the zone of calcium deposit to the width of the zone of bone growth in the humeral caput were high in the cats less than 20 days old. Especially, the arrangement of cells in the zone of calcium deposit in these cats was 3-4 layers but later decreased to 1-2 layers.

11) Even in the cats approximately 12 months old, the epiphyseal line was slightly revealed by radiography and the growth zone was observed histologically.

12) In domestic animals, the epiphyseal line generally existed until estrus, and it is believed that the line is later replaced by bone. However, when compared to sexual maturity, bones matured late.

13) Radiographically and histologically, the bones of cats not born in laboratories matured when the cats were 15- to 18-month-old.

On the basis of the above-mentioned results, a

policy for estimating age in accordance with skeletal growth in cats was obtained.

According to the results obtained concerning bone growth, bone growth was completed earlier in this study than in Smith's study. The difference seemed to be due to a difference in the cats used (the ones in this study were pet cats while those in Smith's study were not). It is very important to radiographically clarify the process of ossification in accordance with aging in the epiphyseal nucleus of pet cats in the diagnosis and treatment of bone diseases and especially in determining the prognosis.

Table 1. Development at supraglenoidal tubercle ossification centers of scapula

Age Grade	Days											Months				
	1	2-5	6-10	11-20	21-30	31-40	41-60	2-3	3-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-15	15-24	
0	$\frac{10}{10}$	$\frac{35}{35}$	$\frac{37}{37}$	$\frac{12}{12}$	$\frac{10}{10}$	$\frac{25}{25}$	$\frac{18}{27}$									
1							$\frac{7}{27}$									
3							$\frac{2}{27}$									
4								$\frac{5}{9}$								
6								$\frac{4}{9}$								
9									$\frac{5}{8}$							
10									$\frac{3}{8}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{9}{9}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{5}{5}$	

Table 2. Development at proximal epiphysis ossification centers of humerus

Age Grade	Days										Months				
	1	2-5	6-10	11-20	21-30	31-40	41-60	2-3	3-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-15	15-24
0	$\frac{7}{10}$	$\frac{16}{35}$	$\frac{4}{37}$												
1	$\frac{3}{10}$	$\frac{10}{35}$	$\frac{13}{37}$												
2		$\frac{8}{35}$	$\frac{10}{37}$												
3		$\frac{1}{35}$	$\frac{10}{37}$	$\frac{6}{12}$	$\frac{1}{10}$										
4			$\frac{6}{12}$	$\frac{9}{10}$	$\frac{25}{25}$	$\frac{25}{27}$	$\frac{2}{9}$								
5						$\frac{2}{27}$	$\frac{7}{9}$	$\frac{8}{8}$							
6									$\frac{2}{5}$						
7									$\frac{3}{5}$	$\frac{7}{9}$	$\frac{1}{3}$				
8										$\frac{2}{9}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{7}$			
9											$\frac{1}{3}$	$\frac{5}{7}$	$\frac{1}{4}$		
10												$\frac{1}{7}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{5}{5}$	

Table 3. Development at distal epiphysis ossification centers of humerus

Grade	Age	Days										Months				
		1	2-5	6-10	11-20	21-30	31-40	41-60	2-3	3-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-15	15-24
0		$\frac{10}{10}$	$\frac{35}{35}$	$\frac{37}{37}$	$\frac{4}{12}$											
1					$\frac{5}{12}$	$\frac{3}{10}$										
2					$\frac{3}{12}$	$\frac{7}{10}$										
3							$\frac{25}{25}$	$\frac{10}{27}$								
4								$\frac{17}{27}$								
5									$\frac{3}{9}$							
6									$\frac{3}{9}$							
7									$\frac{3}{9}$							
8										$\frac{3}{8}$						
9										$\frac{1}{8}$						
10										$\frac{4}{8}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{9}{9}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{5}{5}$

Table 4. Development at proximal epiphysis ossification centers of radius

Grade	Age	Days										Months				
		1	2-5	6-10	11-20	21-30	31-40	41-60	2-3	3-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-15	15-24
0		$\frac{10}{10}$	$\frac{35}{35}$	$\frac{37}{37}$	$\frac{10}{12}$	$\frac{1}{10}$										
1					$\frac{2}{12}$	$\frac{3}{10}$										
2						$\frac{3}{10}$	$\frac{2}{25}$									
3						$\frac{3}{10}$	$\frac{6}{25}$									
4							$\frac{17}{25}$	$\frac{10}{27}$								
5								$\frac{15}{27}$	$\frac{2}{9}$							
6								$\frac{2}{27}$	$\frac{2}{9}$							
7									$\frac{4}{9}$	$\frac{4}{8}$						
8									$\frac{1}{9}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{1}{5}$					
9										$\frac{2}{8}$	$\frac{3}{5}$					
10											$\frac{1}{5}$	$\frac{9}{9}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{5}{5}$

Table 5. Development at distal epiphysis ossification centers of radius

Grade	Age	Days										Months				
		1	2-5	6-10	11-20	21-30	31-40	41-60	2-3	3-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-15	15-24
0		$\frac{10}{10}$	$\frac{35}{35}$	$\frac{37}{37}$	$\frac{7}{12}$	$\frac{1}{10}$										
1					$\frac{2}{12}$	$\frac{2}{10}$										
2					$\frac{3}{12}$	$\frac{3}{10}$										
3						$\frac{4}{10}$										
4							$\frac{4}{25}$									
5							$\frac{19}{25}$	$\frac{5}{27}$								
6							$\frac{2}{25}$	$\frac{11}{27}$								
7								$\frac{9}{9}$	$\frac{6}{8}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{2}{9}$	$\frac{1}{3}$				
8								$\frac{2}{8}$	$\frac{7}{9}$	$\frac{2}{5}$	$\frac{7}{9}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{4}$		
9													$\frac{4}{7}$	$\frac{2}{4}$	$\frac{1}{5}$	
10													$\frac{2}{7}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{4}{5}$	

Table 6. Development at ossification centers of olecranon

Age Grade	Days										Months					
	1	2-5	6-10	11-20	21-30	31-40	41-60	2-3	3-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-15	15-24	
0	$\frac{10}{10}$	$\frac{35}{35}$	$\frac{37}{37}$	$\frac{12}{12}$	$\frac{4}{10}$											
1				$\frac{3}{10}$	$\frac{1}{25}$											
2				$\frac{3}{10}$	$\frac{3}{25}$											
3					$\frac{4}{25}$											
4					$\frac{13}{25}$											
5					$\frac{4}{25}$	$\frac{3}{27}$										
6						$\frac{24}{27}$	$\frac{9}{9}$	$\frac{4}{8}$	$\frac{1}{5}$							
7								$\frac{4}{8}$	$\frac{2}{5}$	$\frac{3}{9}$						
8									$\frac{1}{5}$	$\frac{4}{9}$	$\frac{1}{3}$					
9									$\frac{1}{5}$	$\frac{2}{9}$	$\frac{2}{3}$					
10												$\frac{7}{7}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{5}{5}$		

Table 7. Development at distal epiphysis ossification centers of ulna

Grade	Age	Days										Months					
		1	2-5	6-10	11-20	21-30	31-40	41-60	2-3	3-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-15	15-24	
0		$\frac{10}{10}$	$\frac{35}{35}$	$\frac{37}{37}$	$\frac{11}{12}$	$\frac{2}{10}$											
1					$\frac{1}{12}$	$\frac{2}{10}$											
2						$\frac{5}{10}$											
3						$\frac{1}{10}$	$\frac{5}{25}$										
4							$\frac{20}{25}$	$\frac{6}{27}$									
5								$\frac{17}{27}$	$\frac{3}{9}$								
6								$\frac{4}{27}$	$\frac{6}{9}$	$\frac{8}{8}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{6}{9}$	$\frac{1}{3}$				
7												$\frac{5}{7}$	$\frac{1}{4}$				
8												$\frac{3}{9}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{5}{7}$	$\frac{1}{4}$		
9														$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	
10														$\frac{1}{7}$	$\frac{2}{4}$	$\frac{4}{5}$	

Table 8. Development of accessory carpal bone

Grade	Age	Days										Months					
		1	2-5	6-10	11-20	21-30	31-40	41-60	2-3	3-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-15	15-24	
0		$\frac{10}{10}$	$\frac{35}{35}$	$\frac{37}{37}$	$\frac{10}{12}$												
1					$\frac{2}{12}$	$\frac{8}{10}$											
2						$\frac{2}{10}$	$\frac{16}{25}$	$\frac{3}{27}$									
3							$\frac{8}{25}$	$\frac{4}{27}$									
4							$\frac{1}{25}$	$\frac{6}{27}$									
5								$\frac{6}{27}$									
6								$\frac{8}{27}$				$\frac{3}{9}$	$\frac{3}{8}$				
9												$\frac{6}{9}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{2}{5}$			
10												$\frac{3}{5}$	$\frac{9}{9}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{5}{5}$

Table 9. Development at distal epiphysis ossification centers of 3rd metacarpal bone

Age Grade	Days											Months				
	1	2-5	6-10	11-20	21-30	31-40	41-60	2-3	3-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-15	15-24	
0	$\frac{10}{10}$	$\frac{35}{35}$	$\frac{37}{37}$	$\frac{7}{12}$	$\frac{2}{10}$											
1					$\frac{1}{10}$											
2				$\frac{3}{12}$												
3				$\frac{2}{12}$	$\frac{1}{10}$											
4					$\frac{4}{10}$											
5					$\frac{2}{10}$	$\frac{3}{25}$										
6						$\frac{22}{25}$	$\frac{16}{27}$									
7							$\frac{11}{27}$	$\frac{3}{9}$	$\frac{1}{8}$							
8								$\frac{6}{9}$	$\frac{4}{8}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{2}{9}$					
9									$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{5}{9}$	$\frac{1}{3}$				
10										$\frac{2}{9}$	$\frac{7}{9}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{5}{5}$	

Table 10. Development at proximal epiphysis ossification centers of femur

Grade	Age	Days										Months				
		1	2-5	6-10	11-20	21-30	31-40	41-60	2-3	3-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-15	15-24
0		$\frac{10}{10}$	$\frac{23}{35}$	$\frac{24}{37}$												
1			$\frac{12}{35}$	$\frac{10}{37}$	$\frac{1}{12}$											
2				$\frac{3}{37}$	$\frac{5}{12}$											
3					$\frac{5}{12}$											
4					$\frac{1}{12}$	$\frac{4}{10}$										
5					$\frac{6}{10}$	$\frac{8}{25}$										
6					$\frac{17}{25}$	$\frac{25}{27}$	$\frac{1}{9}$									
7						$\frac{2}{27}$	$\frac{8}{9}$	$\frac{1}{8}$								
8							$\frac{4}{8}$	$\frac{2}{5}$								
9							$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{4}{9}$							
10								$\frac{5}{9}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{5}{5}$				

Table 11. Development at distal epiphysis ossification centers of femur

Grade	Age	Days										Months				
		1	2-5	6-10	11-20	21-30	31-40	41-60	2-3	3-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-15	15-24
0		$\frac{10}{10}$	$\frac{22}{35}$	$\frac{16}{37}$												
1			$\frac{13}{35}$	$\frac{21}{37}$	$\frac{1}{12}$											
2					$\frac{8}{12}$	$\frac{3}{10}$										
3					$\frac{3}{12}$	$\frac{7}{10}$										
4							$\frac{8}{25}$									
5							$\frac{14}{25}$									
6							$\frac{3}{25}$	$\frac{27}{27}$	$\frac{6}{9}$							
7								$\frac{3}{9}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{1}{5}$						
8									$\frac{6}{8}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{2}{9}$					
9											$\frac{7}{9}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{4}{7}$			
10												$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{7}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{5}{5}$	

Table 12. Development at proximal epiphysis ossification centers of tibia

Grade	Age	Days										Months					
		1	2-5	6-10	11-20	21-30	31-40	41-60	2-3	3-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-15	15-24	
0		$\frac{10}{10}$	$\frac{35}{35}$	$\frac{36}{37}$	$\frac{2}{12}$												
1				$\frac{1}{37}$	$\frac{4}{12}$												
2					$\frac{6}{12}$	$\frac{10}{10}$	$\frac{17}{25}$	$\frac{3}{27}$									
3						$\frac{8}{25}$	$\frac{2}{27}$										
4							$\frac{5}{27}$										
5							$\frac{9}{27}$										
6							$\frac{8}{27}$	$\frac{7}{9}$									
7								$\frac{2}{9}$	$\frac{3}{8}$								
8									$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{4}{9}$						
9										$\frac{2}{5}$	$\frac{5}{9}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{3}{4}$			
10														$\frac{1}{4}$	$\frac{5}{5}$		

Table 13. Development at distal epiphysis ossification centers of tibia

Age Grade	Days										Months					
	1	2-5	6-10	11-20	21-30	31-40	41-60	2-3	3-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-15	15-24	
0	$\frac{10}{10}$	$\frac{35}{35}$	$\frac{37}{37}$	$\frac{2}{12}$												
1				$\frac{4}{12}$												
2				$\frac{3}{12}$	$\frac{3}{10}$											
3				$\frac{3}{12}$	$\frac{3}{10}$											
4					$\frac{4}{10}$	$\frac{4}{25}$										
5						$\frac{7}{25}$	$\frac{2}{27}$									
6						$\frac{11}{25}$	$\frac{8}{27}$									
7						$\frac{3}{25}$	$\frac{17}{27}$	$\frac{5}{9}$								
8								$\frac{3}{9}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{1}{5}$						
9								$\frac{1}{9}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{5}{9}$	$\frac{2}{3}$				
10								$\frac{4}{9}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{4}{9}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{5}{5}$		

Table 15. Development at distal epiphysis ossification centers of fibula

Grade	Age	Days										Months				
		1	2-5	6-10	11-20	21-30	31-40	41-60	2-3	3-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-15	15-24
0		10/10	35/35	37/37	12/12	3/10										
1					2/10											
2					1/10											
3					4/10											
4						6/25										
5						14/25			1/27							
6						5/25			14/27							
7						12/27		3/9	4/8							
8							5/9	3/8	4/5	1/9						
9							1/9	1/8	1/5	8/9	2/3					
10								1/3	7/7	4/4	5/5					

Table 16. Development of calcaneus bone

Age Grade	Days										Months				
	1	2-5	6-10	11-20	21-30	31-40	41-60	2-3	3-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-15	15-24
0	10/10	35/35	37/37	12/12	9/10	6/25									
3				1/10		4/25	2/27								
4						11/25	5/27								
5						4/25	14/27								
6							6/27	8/9	2/8	3/5	1/9				
9								1/9	6/8	2/5	5/9				
10											3/9	3/3	7/7	4/4	5/5

Table 17. Development at distal epiphysis ossification centers of 3rd metatarsal bone

Grade	Age	Days										Months				
		1-2	2-5	6-10	11-20	21-30	31-40	41-60	2-3	3-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-15	15-24
0		10/10	35/35	37/37	12/12	4/10										
1					4/10											
2					1/10											
3					1/10				4/25							
4									5/25							
5									9/25	5/27						
6									7/25	18/27	8/9					
7									4/27	1/9	5/8	3/5	2/9			
8										3/8	1/5	1/5	1/9			
9											1/5	6/9				
10											3/3	7/7	4/4	5/5		

Centers of Ossification	Age of Ossification
Scapula	Ossified at birth. First appears at 1 1/2 - 2 months, unites with body at 3 months. Appears 1 1/2 - 2 months, unites with supraglenoidal tubercle 2 - 2 1/2 months.
Clavicle	Ossified at birth.
Humerus	Ossified at birth. Appears 1 - 7 days, unites with diaphysis at 12 - 14 months. Appears 10 - 25 days, unites with diaphysis at 3 - 4 months. Appears 1 - 2 months, unites with medial and lateral condyles at 2 1/2 months. Ossified at birth. Appears 18 - 25 days, unites with diaphysis at 4 1/2 - 6 1/2 months. Appears 18 - 25 days, unites with diaphysis at 15 - 18 months. Ossified at birth. Appears 21 - 35 days, unites with diaphysis at 10 months. Appears 18 - 35 days, unites with diaphysis at 15 - 18 months. Accessory first appears at 20 - 25 days, epiphysis of accessory appears at 1 - 2 months and unites with body of accessory at 4 - 4 1/2 months. Ossified at birth. Appears at 18 - 25 days, unites with diaphysis at 8 - 9 months. Ossified at birth. Ossified at birth. Appears at 3 - 8 days, unites with diaphysis at 6 1/2 - 7 months. Appears at 35 - 45 days. Appears at 35 - 55 days. Appears at 3 - 8 days, unites with diaphysis at 9 - 12 months. Ossification center appears 45 - 65 days. Ossified at birth. Appears at 10 - 15 days, unites with diaphysis at 15 months. Appears at 30 - 50 days, unites with epiphysis at 4 - 6 months. Appears at 15 days, unites with diaphysis at 6 - 9 months. Ossified at birth. Appears at 30 - 40 days, unites with diaphysis at 5 1/2 - 7 months. Appears at 20 - 25 days, unites with diaphysis at 9 months. Accessory ossified at birth, epiphysis of accessory appears at 25 - 40 days and unites with body of accessory at 7 months. Ossified at birth. Ossified at birth. Appears at 20 - 25 days, unites with diaphysis at 9 months. (similar to phalanges)
Radius	Ossified at birth. Appears 10 - 25 days, unites with diaphysis at 3 - 4 months. Appears 1 - 2 months, unites with medial and lateral condyles at 2 1/2 months. Ossified at birth. Appears 18 - 25 days, unites with diaphysis at 4 1/2 - 6 1/2 months. Appears 18 - 25 days, unites with diaphysis at 15 - 18 months. Ossified at birth. Appears 21 - 35 days, unites with diaphysis at 10 months. Appears 18 - 35 days, unites with diaphysis at 15 - 18 months. Accessory first appears at 20 - 25 days, epiphysis of accessory appears at 1 - 2 months and unites with body of accessory at 4 - 4 1/2 months. Ossified at birth. Appears at 18 - 25 days, unites with diaphysis at 8 - 9 months. Ossified at birth. Ossified at birth. Appears at 3 - 8 days, unites with diaphysis at 6 1/2 - 7 months. Appears at 35 - 45 days. Appears at 35 - 55 days. Appears at 3 - 8 days, unites with diaphysis at 9 - 12 months. Ossification center appears 45 - 65 days. Ossified at birth. Appears at 10 - 15 days, unites with diaphysis at 15 months. Appears at 30 - 50 days, unites with epiphysis at 4 - 6 months. Appears at 15 days, unites with diaphysis at 6 - 9 months. Ossified at birth. Appears at 30 - 40 days, unites with diaphysis at 5 1/2 - 7 months. Appears at 20 - 25 days, unites with diaphysis at 9 months. Accessory ossified at birth, epiphysis of accessory appears at 25 - 40 days and unites with body of accessory at 7 months. Ossified at birth. Ossified at birth. Appears at 20 - 25 days, unites with diaphysis at 9 months. (similar to phalanges)
Ulna	Ossified at birth. Appears 10 - 25 days, unites with diaphysis at 3 - 4 months. Appears 1 - 2 months, unites with medial and lateral condyles at 2 1/2 months. Ossified at birth. Appears 18 - 25 days, unites with diaphysis at 4 1/2 - 6 1/2 months. Appears 18 - 25 days, unites with diaphysis at 15 - 18 months. Ossified at birth. Appears 21 - 35 days, unites with diaphysis at 10 months. Appears 18 - 35 days, unites with diaphysis at 15 - 18 months. Accessory first appears at 20 - 25 days, epiphysis of accessory appears at 1 - 2 months and unites with body of accessory at 4 - 4 1/2 months. Ossified at birth. Appears at 18 - 25 days, unites with diaphysis at 8 - 9 months. Ossified at birth. Ossified at birth. Appears at 3 - 8 days, unites with diaphysis at 6 1/2 - 7 months. Appears at 35 - 45 days. Appears at 35 - 55 days. Appears at 3 - 8 days, unites with diaphysis at 9 - 12 months. Ossification center appears 45 - 65 days. Ossified at birth. Appears at 10 - 15 days, unites with diaphysis at 15 months. Appears at 30 - 50 days, unites with epiphysis at 4 - 6 months. Appears at 15 days, unites with diaphysis at 6 - 9 months. Ossified at birth. Appears at 30 - 40 days, unites with diaphysis at 5 1/2 - 7 months. Appears at 20 - 25 days, unites with diaphysis at 9 months. Accessory ossified at birth, epiphysis of accessory appears at 25 - 40 days and unites with body of accessory at 7 months. Ossified at birth. Ossified at birth. Appears at 20 - 25 days, unites with diaphysis at 9 months. (similar to phalanges)
Carpal bones	Accessory carpal bone
Metacarpus	diaphysis distal epiphysis of 3rd metacarpal bone
Phalanges	diaphysis proximal epiphysis
Femur	trochanter major trochanter minor medial and lateral condyles
Patella	diaphysis proximal epiphysis
Tibia	tibial tuberosity distal epiphysis
Fibula	diaphysis proximal epiphysis distal epiphysis
Tarsal bones	calcaneus bone astragalus bone diaphysis distal epiphysis of 3rd metatarsal bone
Phalanges	(similar to phalanges)

Table 19. Real number at proximal epiphysis growth zone
of humerus attend on aging

Age	Zone of resting cartilage			Zone of cell proliferation	Zone of cell maturation	Zone of calcification
	I Real number (μm) (%)	II	III			
5	635.95 (19.60)	769.20 (23.71)	616.72 (19.01)	583.56 (17.99)	288.19 (8.88)	350.57 (10.81)
10	442.10 (12.73)	1522.06 (43.53)	382.36 (11.04)	419.32 (12.03)	337.28 (9.74)	378.24 (10.88)
20	352.46 (9.35)	2376.22 (67.23)	231.25 (6.14)	256.74 (6.81)	238.98 (6.34)	313.99 (8.33)
30	240.43 (5.74)	2840.85 (67.23)	135.33 (3.24)	328.95 (7.91)	334.05 (7.93)	334.87 (7.95)
40	116.87 (2.97)	3448.18 (74.61)	136.84 (2.55)	334.46 (7.25)	259.78 (5.66)	320.92 (6.96)
60 Days	183.51 (3.71)	3618.37 (72.47)	124.19 (2.53)	426.83 (8.60)	290.69 (5.86)	341.71 (6.83)
3	150.59 (2.37)	5408.44 (84.97)	92.24 (1.45)	292.23 (4.59)	123.88 (1.95)	306.92 (4.67)
7	133.48 (1.98)	6031.89 (89.09)	89.65 (1.47)	204.62 (3.01)	77.91 (1.16)	222.45 (3.29)
12 months	87.06 (1.47)	5497.27 (92.87)	15.62 (0.26)	135.20 (2.30)	27.64 (0.50)	153.85 (2.60)

Notes ; I : Zone of resting cartilage from articular portio to lateral margin of ossification centers.

II : Part of ossification center contained zone of cell proliferation and maturation.

III : Zone of resting cartilage at medial margin of ossification centers.

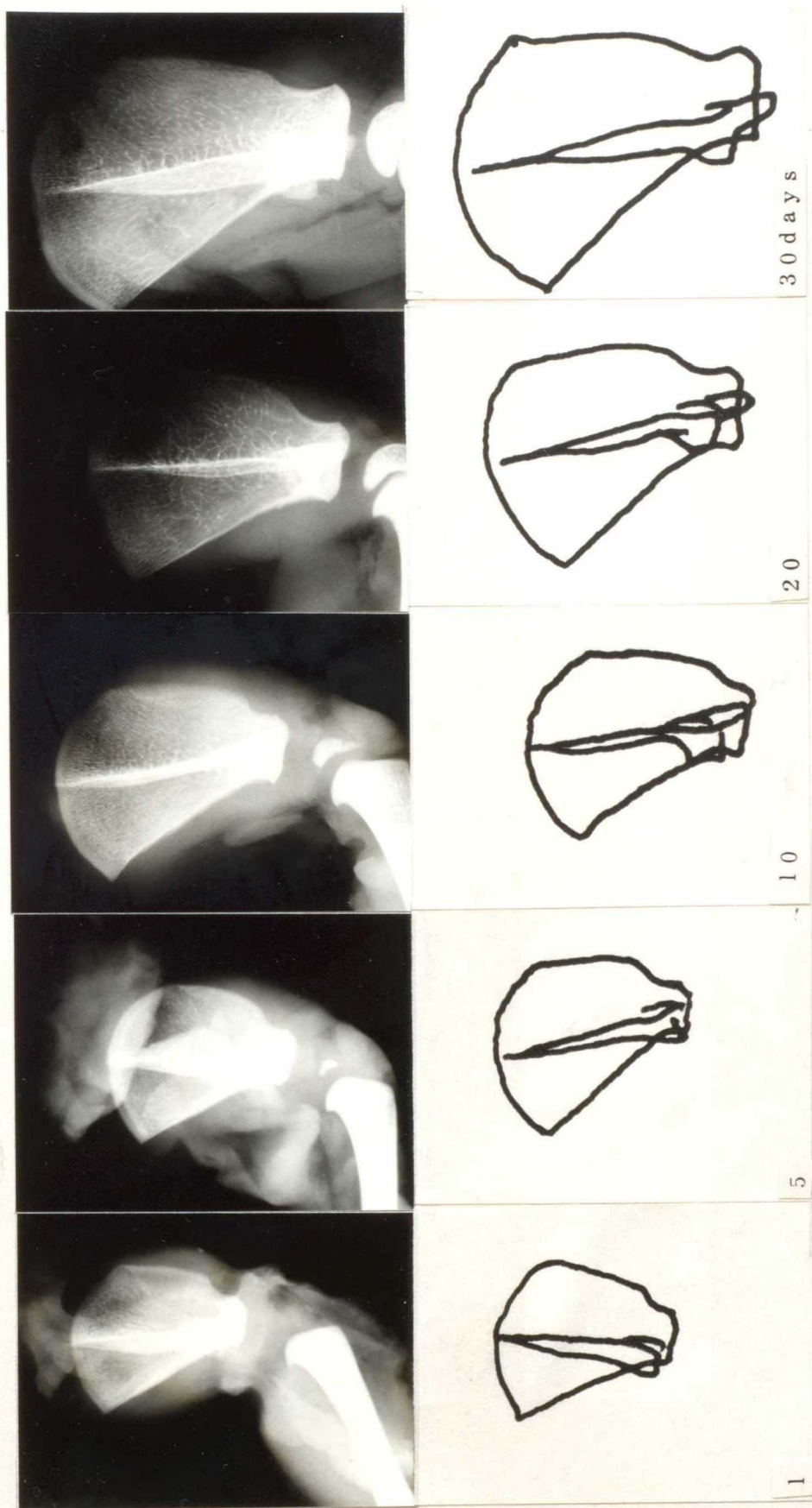


Figure 1-1. Radiography and sketch to figures at supraglenoidal tubercle of scapula (Medio-lateral, 1-30 days)

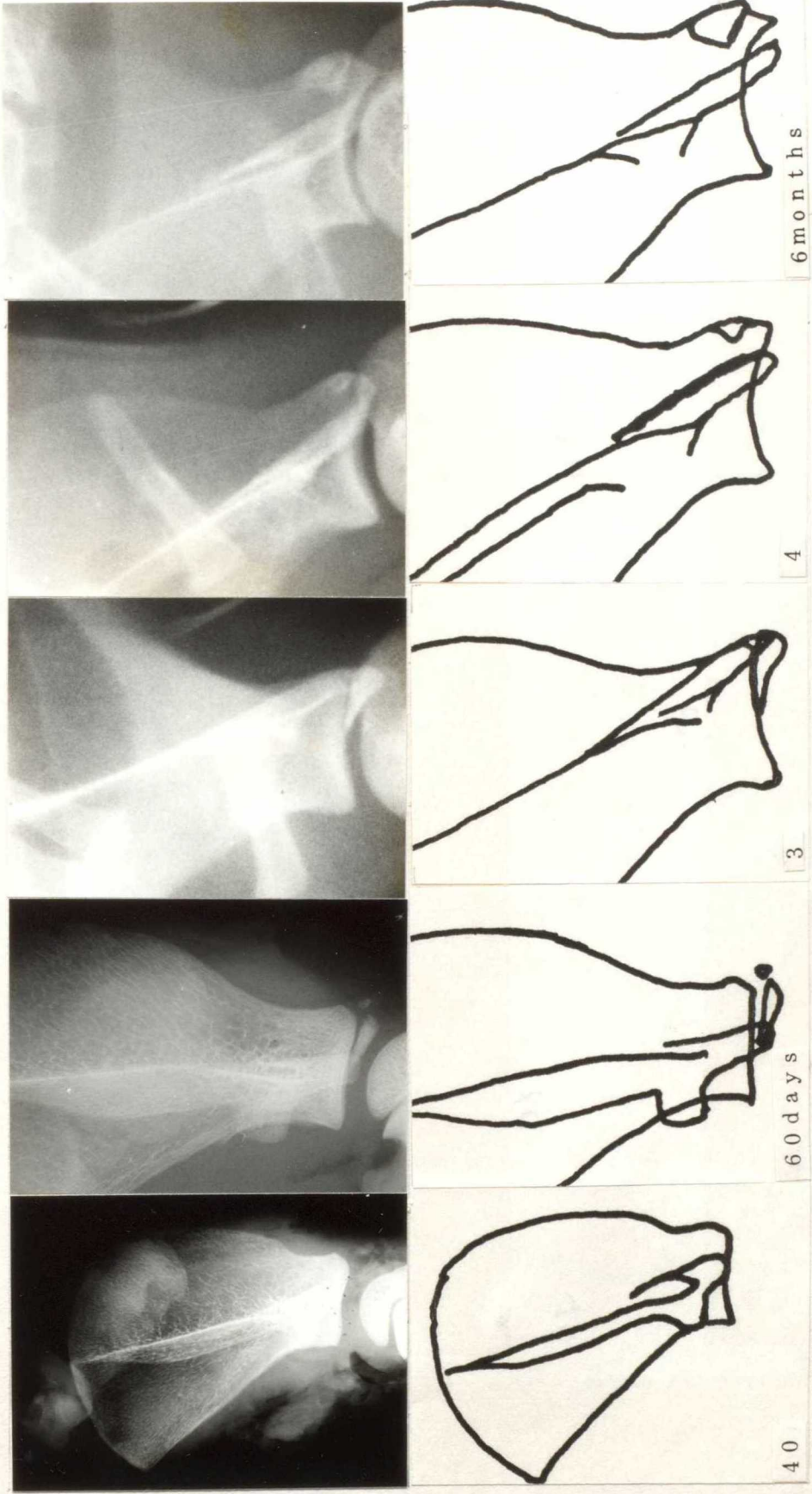


Figure 1-2. Radiography and sketch to figures at supraglenoidal tubercle of scapula (40 days-6 months)

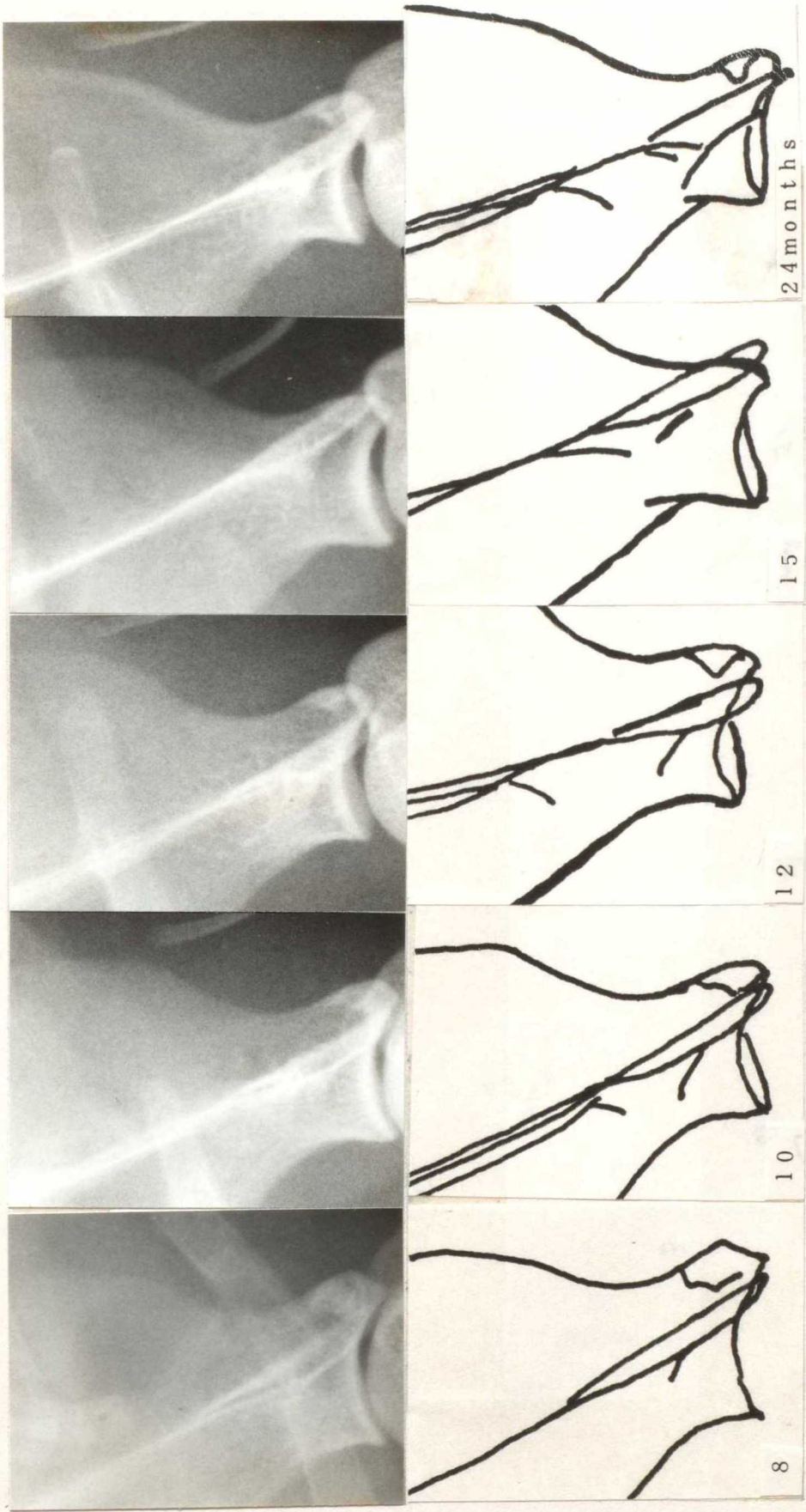
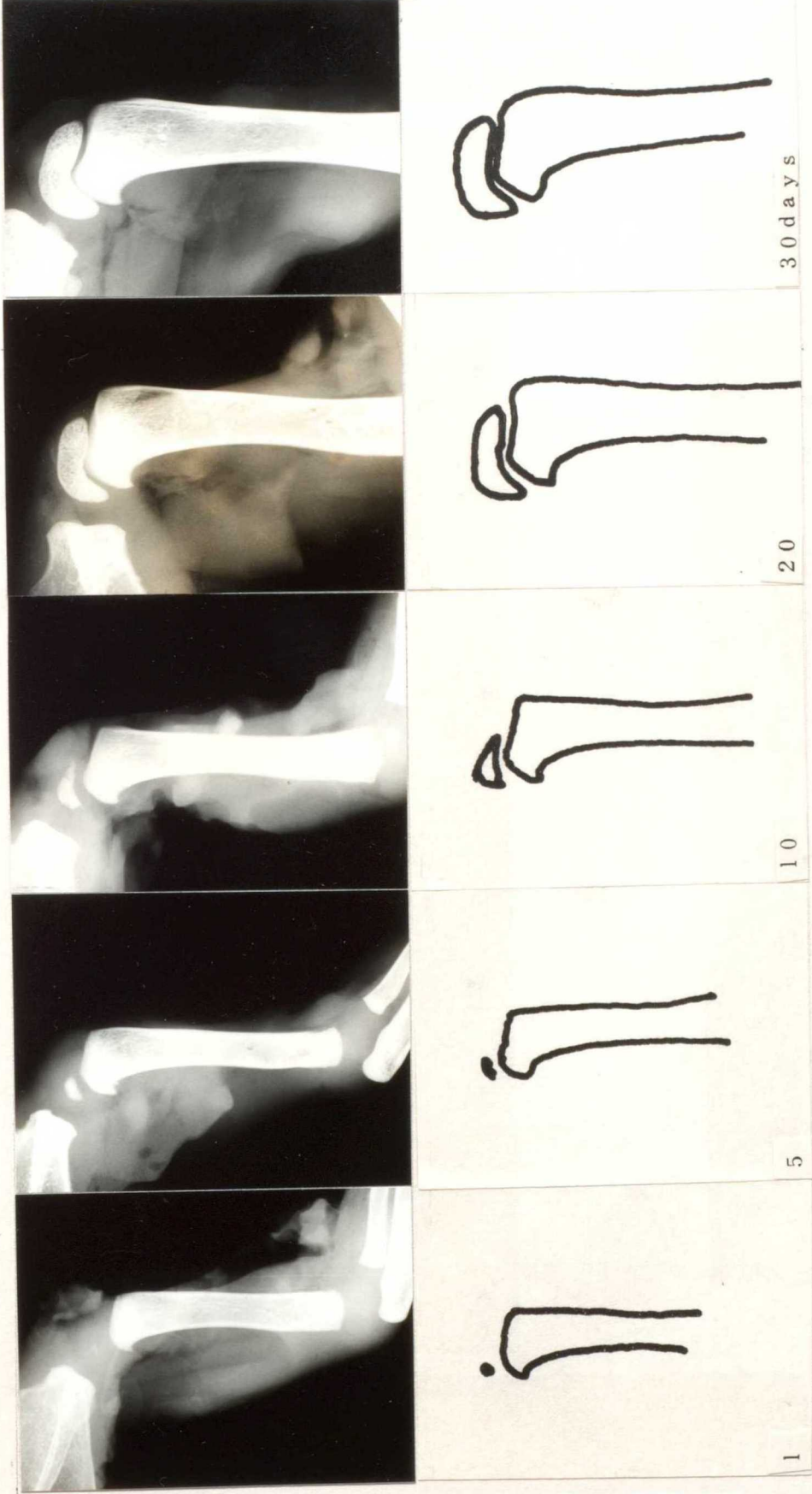


Figure 1-3. Radiography and sketch to figures at supraglenoidal tubercle of scapula (8-24months)



Radiography

Sketch to fig.

Figure 2-1. Radiography and sketch to figures at proximal epiphysis of humerus (Medio-lateral, 1-30 days)



Figure 2-2. Radiography and sketch to figures at proximal epiphysis of humerus (40days-6months)

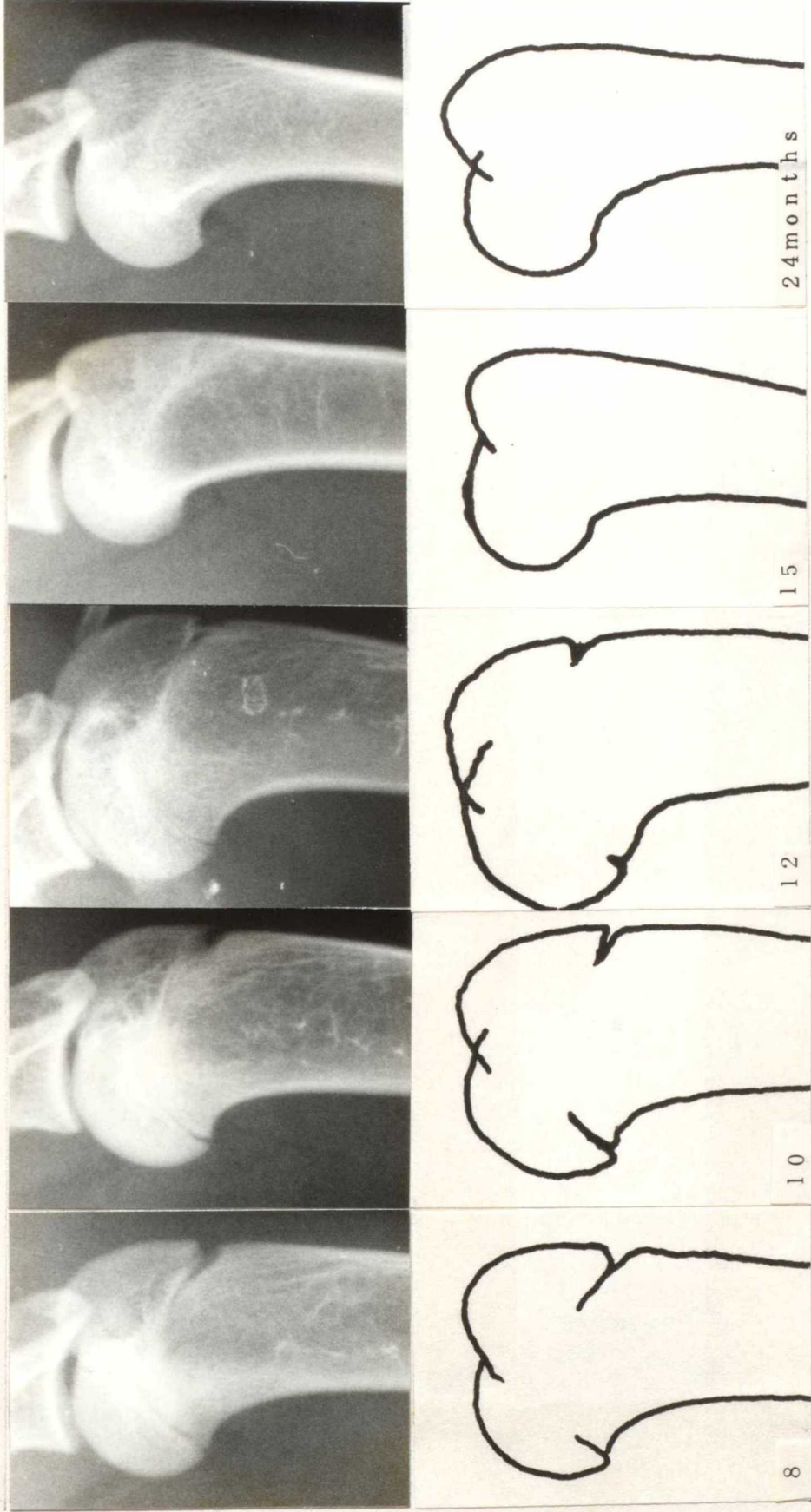
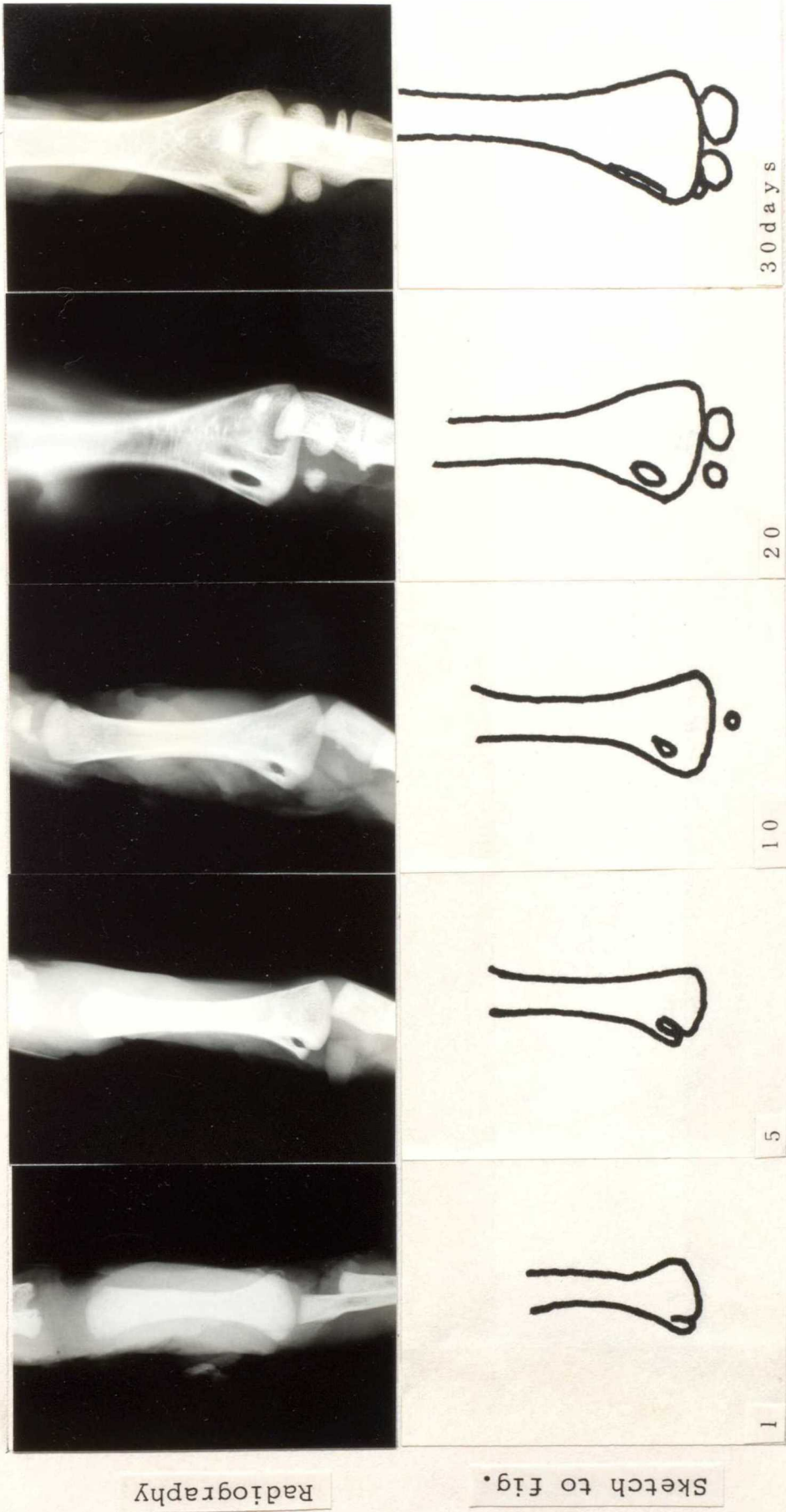


Figure 2-3. Radiography and sketch to figures at proximal epiphysis of humerus (8-24 months)



Radiography

Sketch to fig.

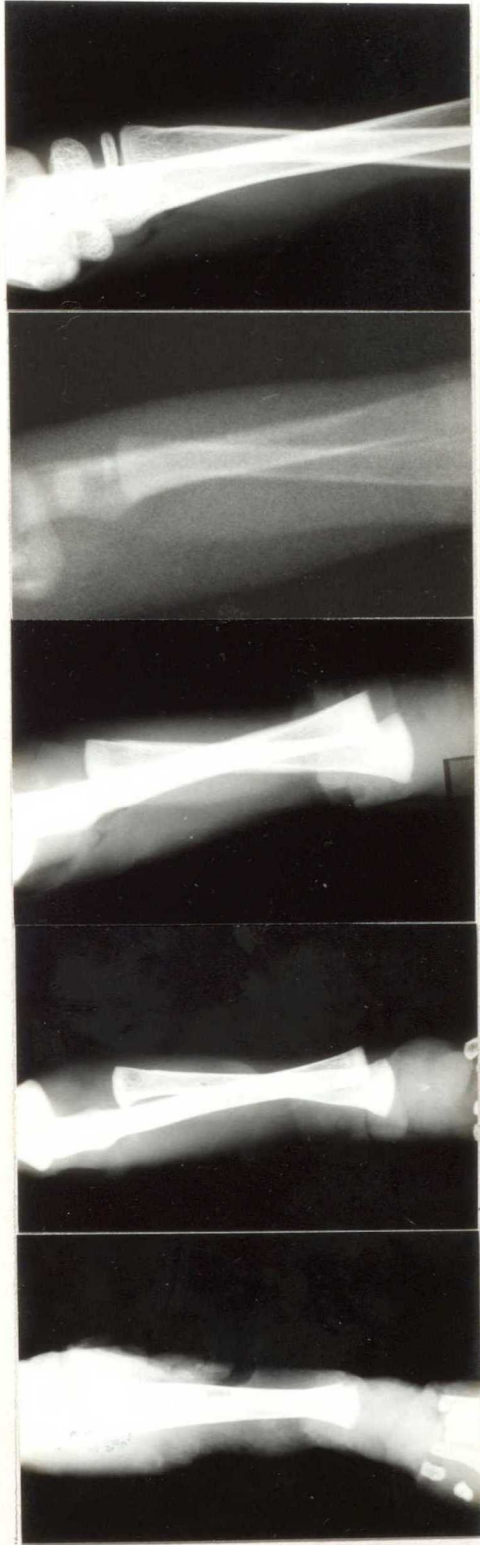
Figure 3-1. Radiography and sketch to figures at distal epiphysis of humerus (Cranio-caudal, 1-30 days)



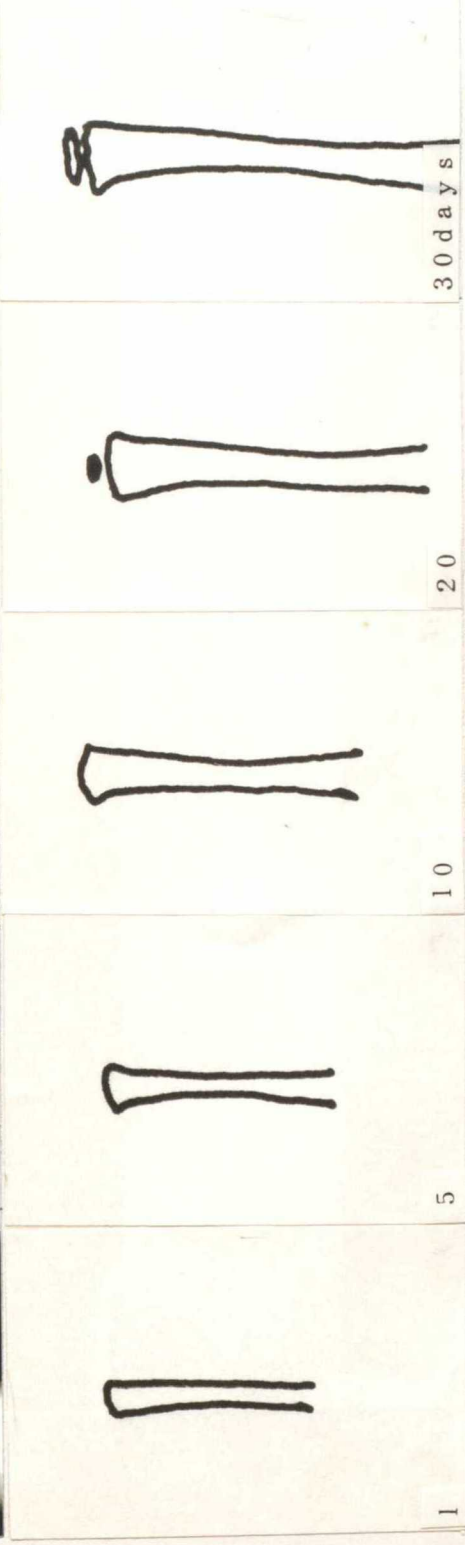
Figure 3-2. Radiography and sketch to figures at distal epiphysis of humerus (40 days - 6 months)



Figure 3-3. Radiography and sketch to figures at distal epiphysis of humerus (8-24months)



Radiography



Sketch to fig.

Figure 4-1. Radiography and sketch to figures at proximal epiphysis of radius (Cranio-caudal, 1-30 days)

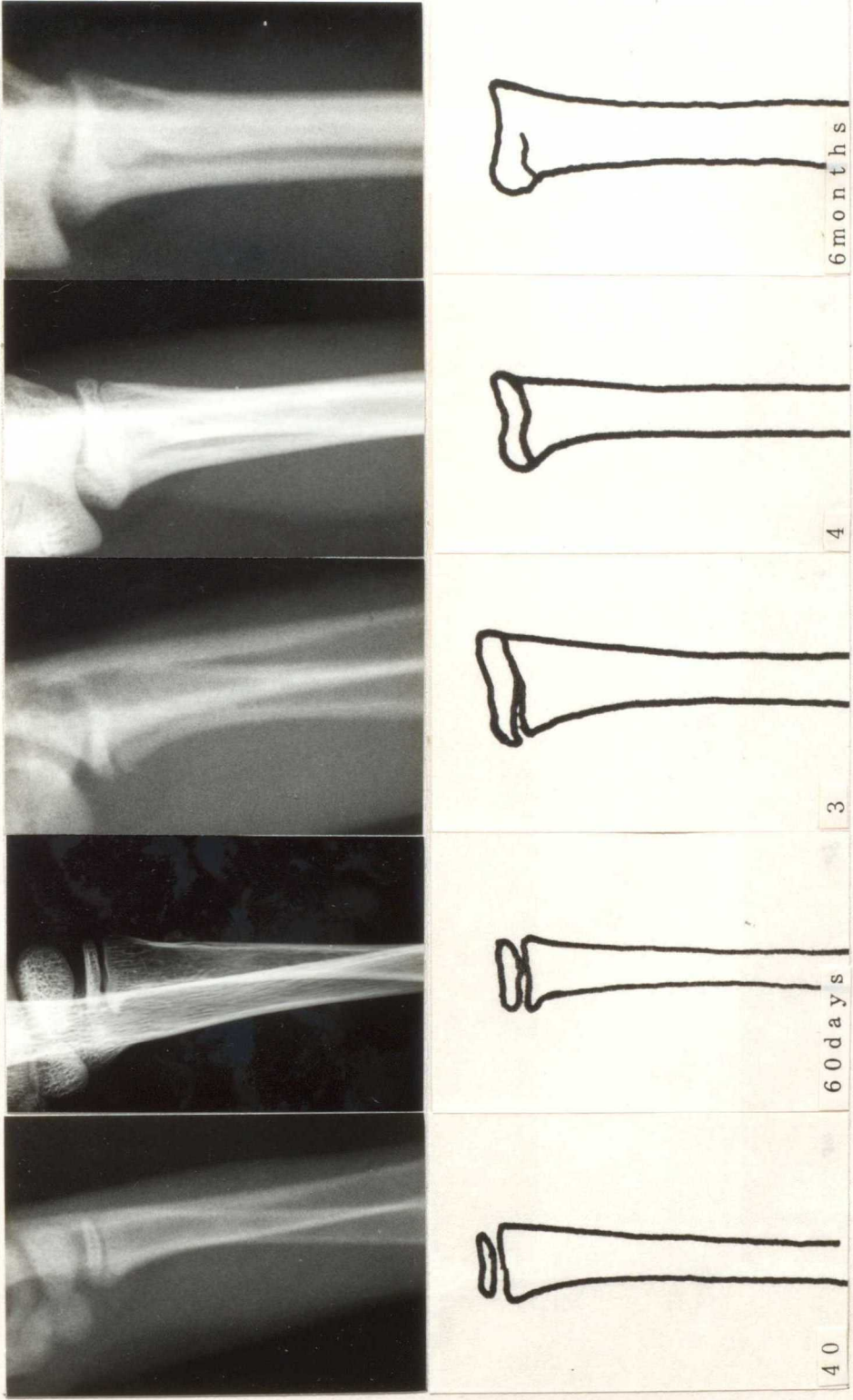


Figure 4-2. Radiography and sketch to figures at proximal epiphysis of radius (40 days-6 months)

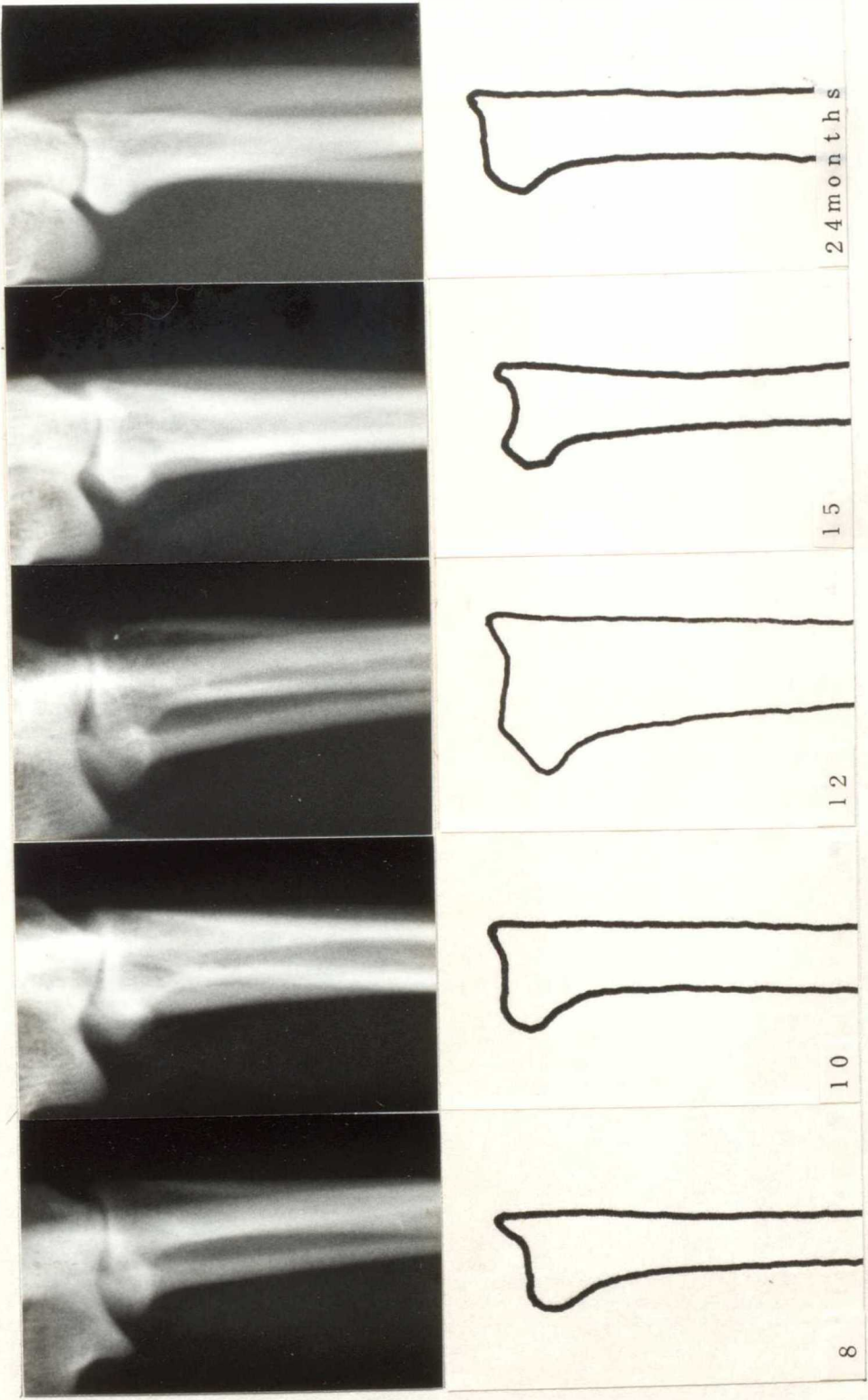
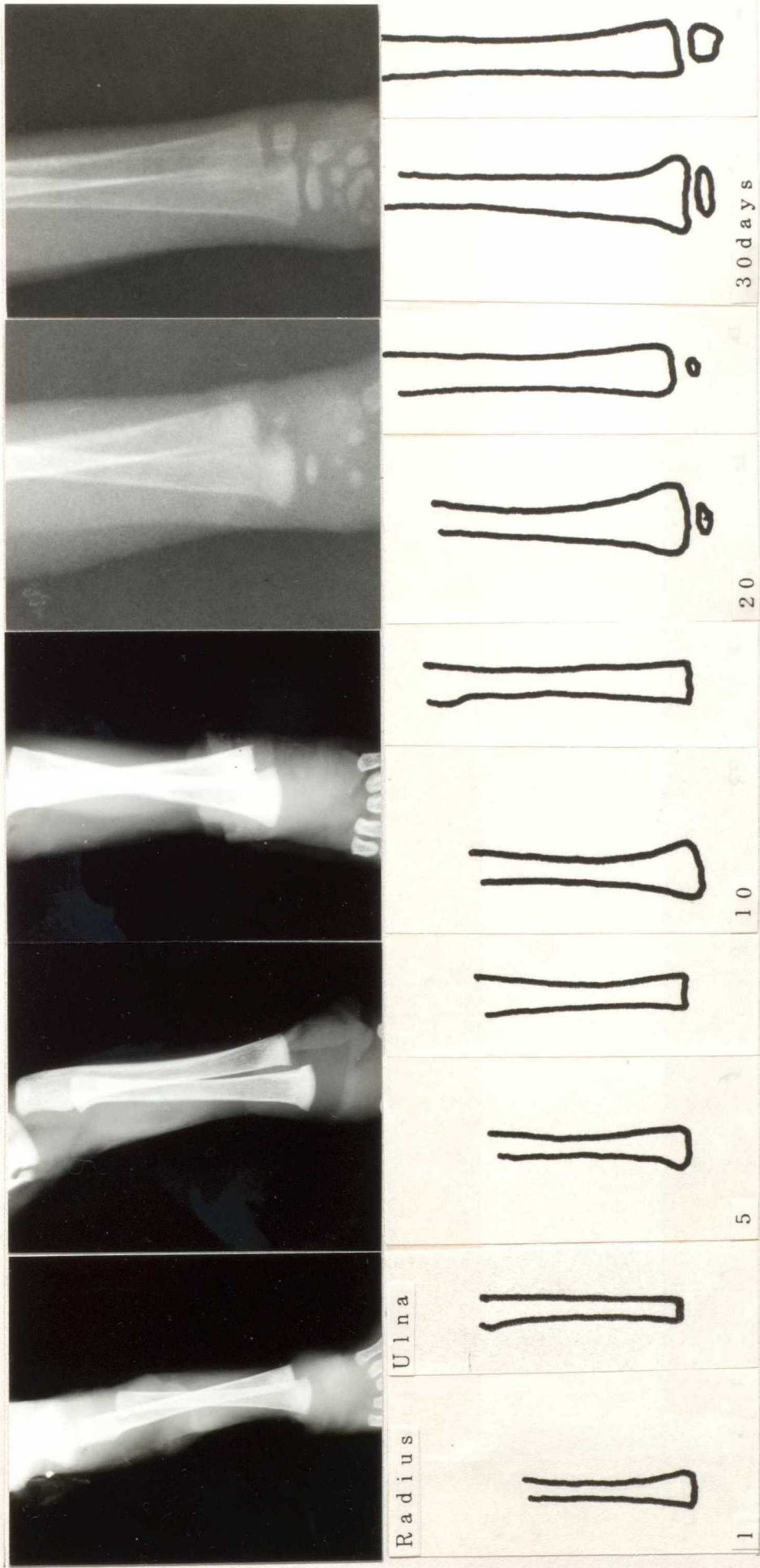


Figure 4-3. Radiography and sketch to figures at proximal epiphysis of radius (8-24months)



Radiography

Sketch to fig.

Figure 5-1. Radiography and sketch to figures at distal epiphysis of radius and ulna (Cranio-caudal, 1-30 days)

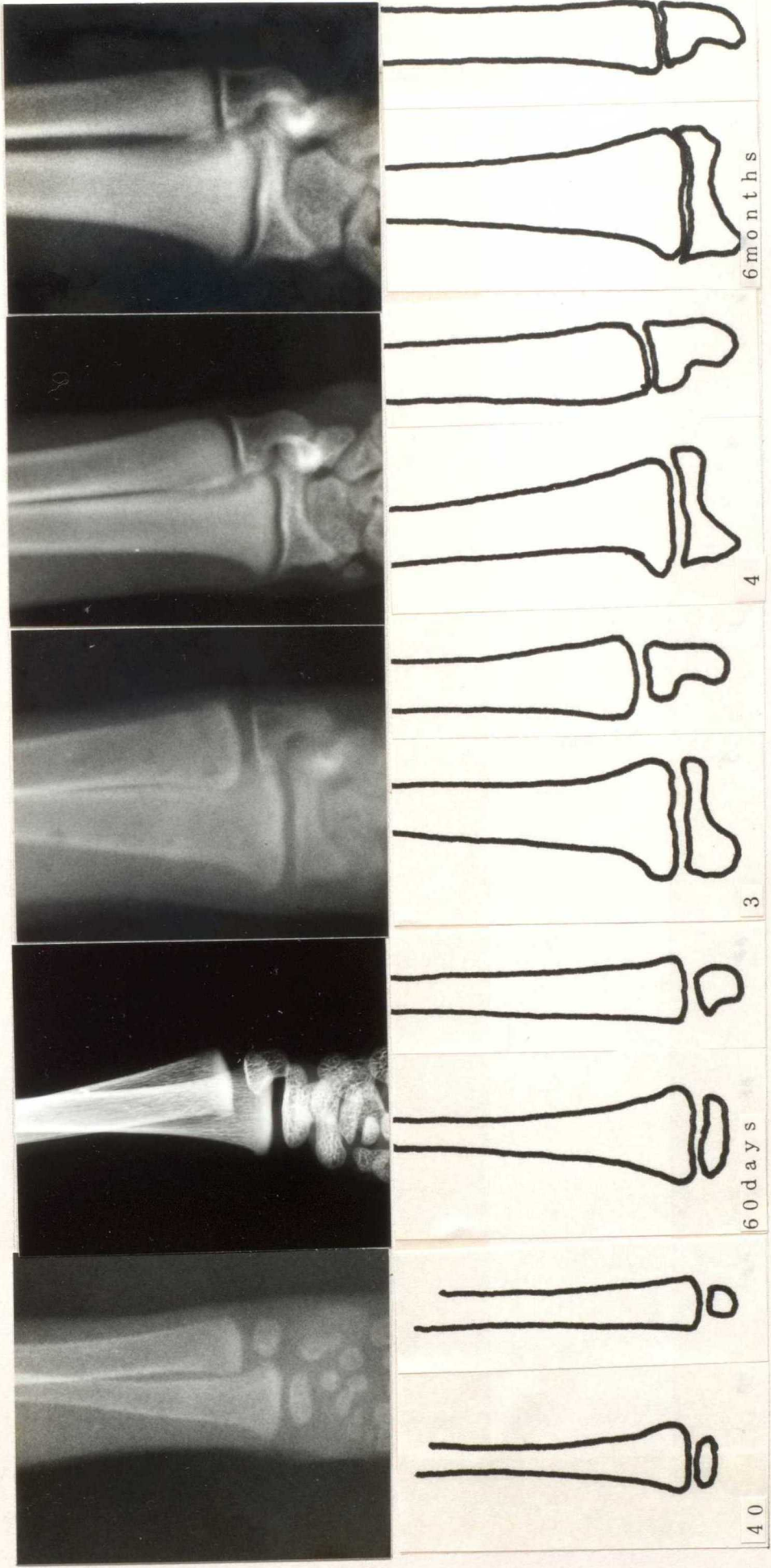


Figure 5-2. Radiography and sketch to figures at distal epiphysis of radius and ulna (40 days - 6 months)

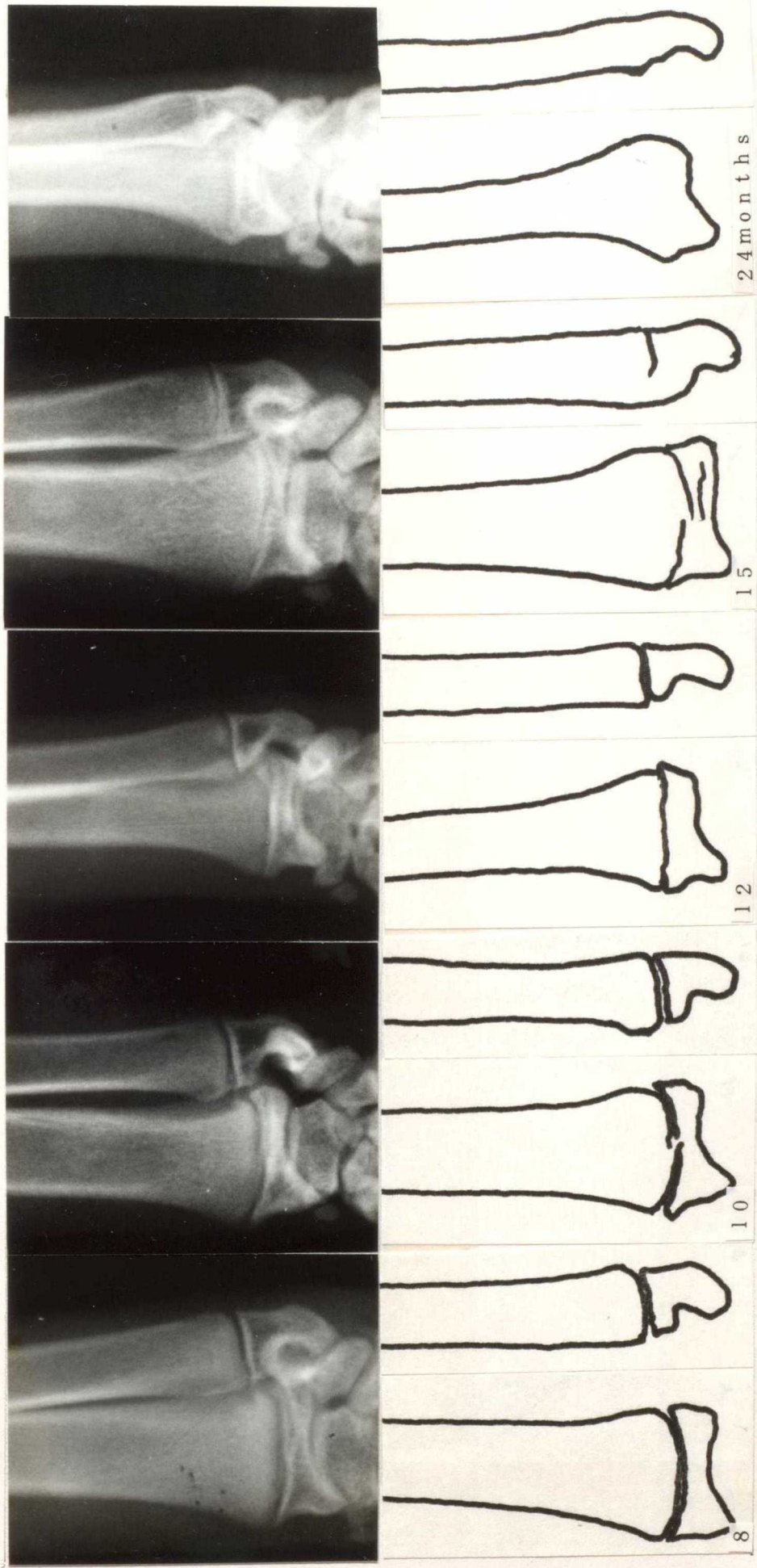
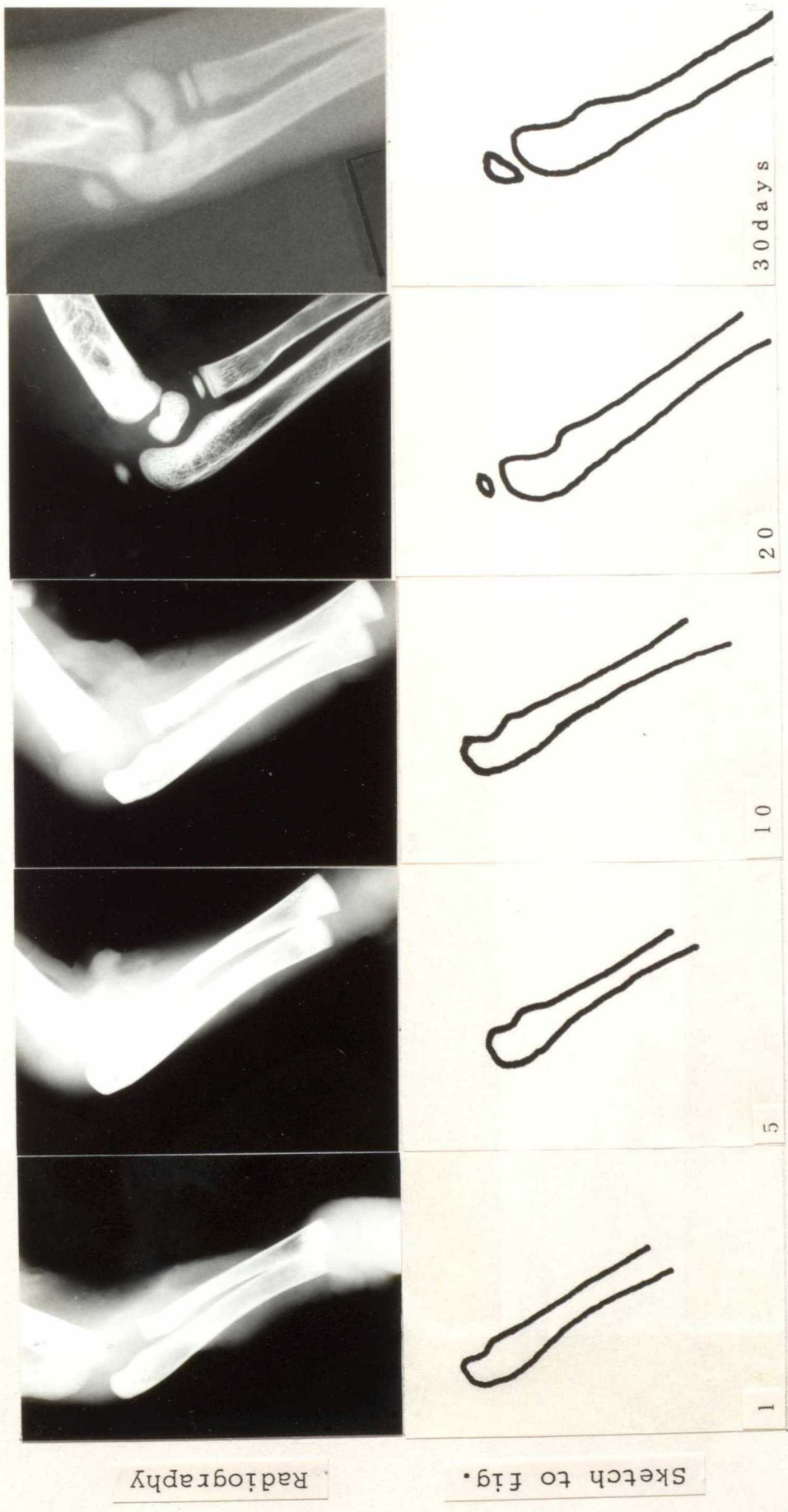


Figure 5-3. Radiography and sketch to figures at distal epiphysis of radius and ulna (8-24 months)



Radiography

Sketch to fig.

Figure 6-1. Radiography and sketch to figures of olecranon
(Medio-lateral, 1-30 days)

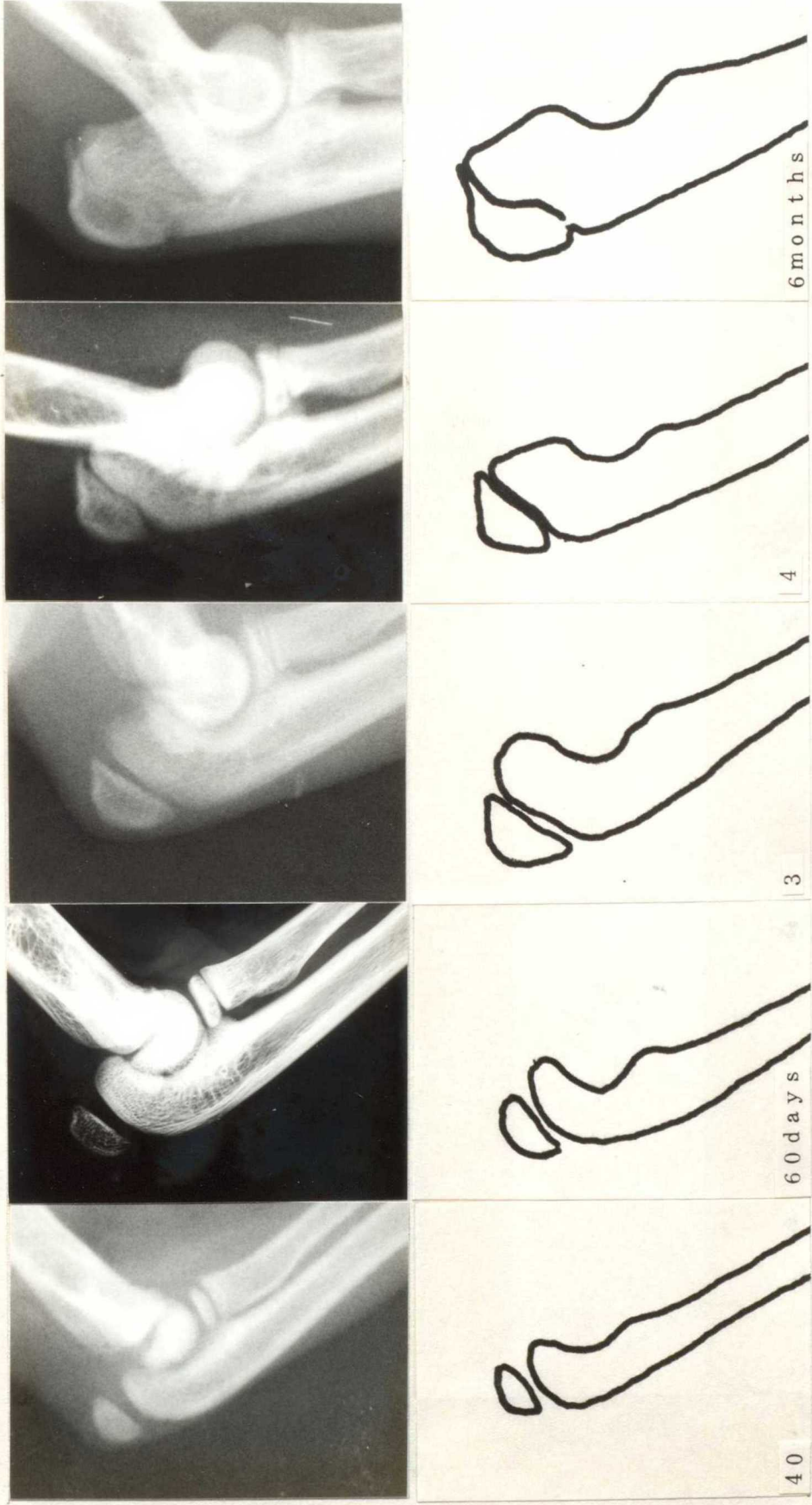


Figure 6-2. Radiography and sketch to figures of olecranon (40 days - 6 months)

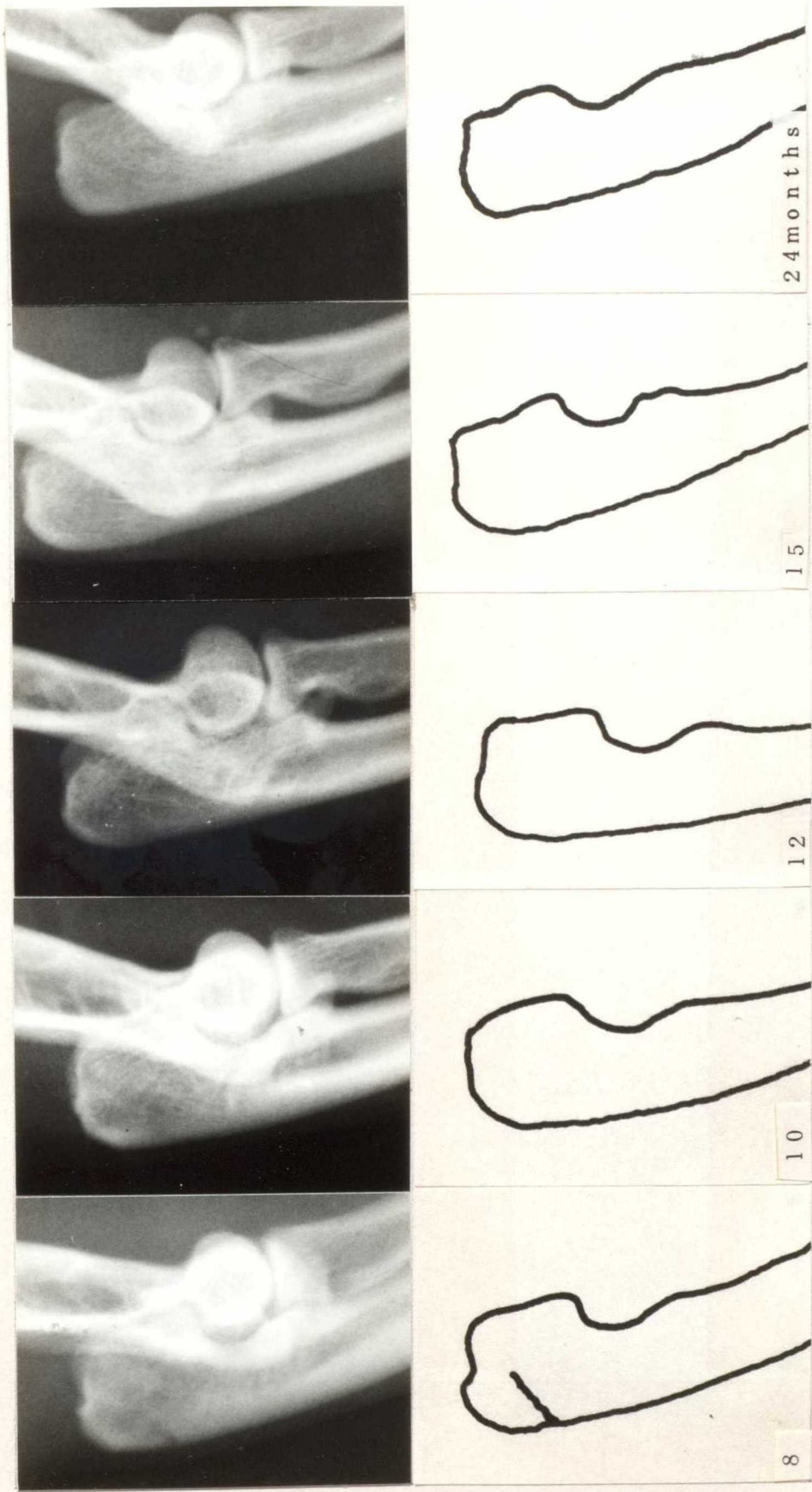


Figure 6-3. Radiography and sketch to figures of olecranon
(8-24 months)

Sketch to fig. Radiography

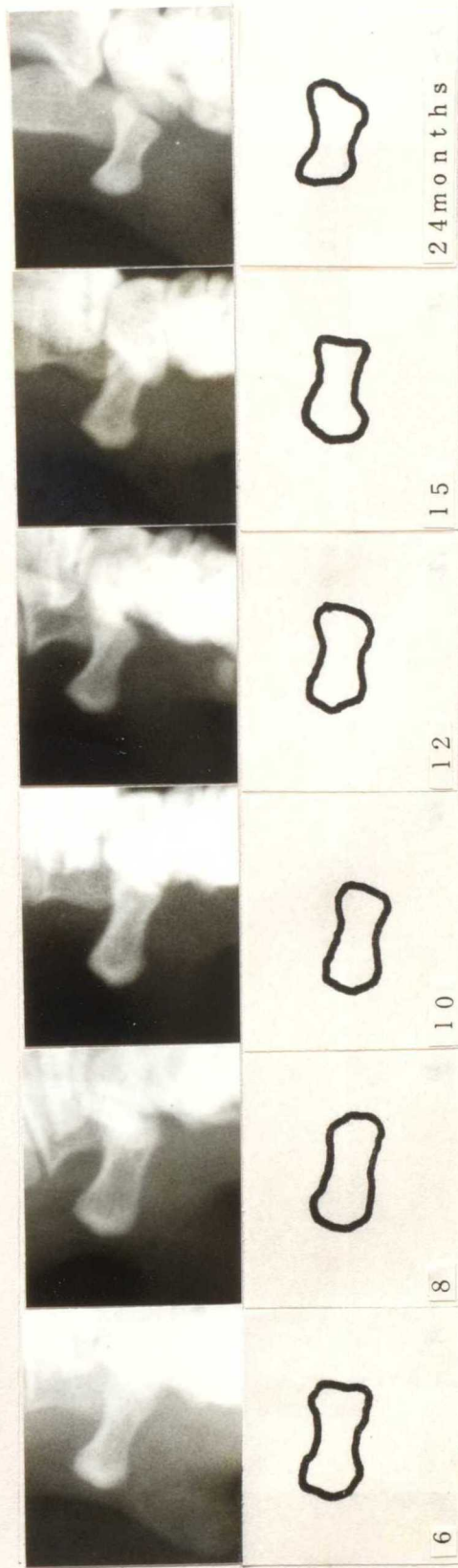
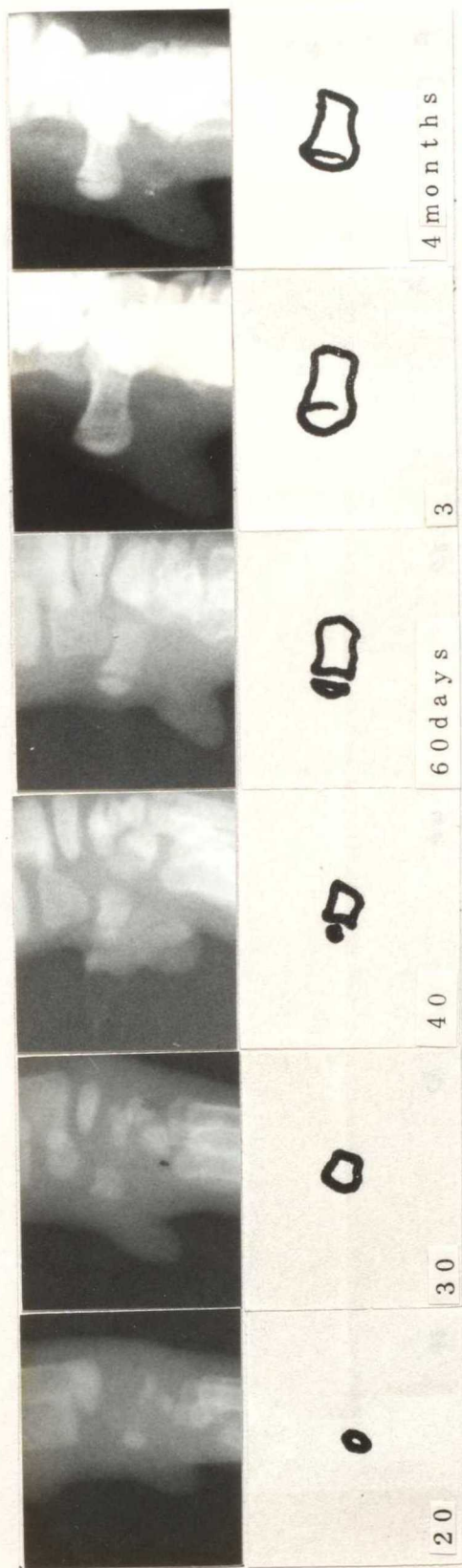
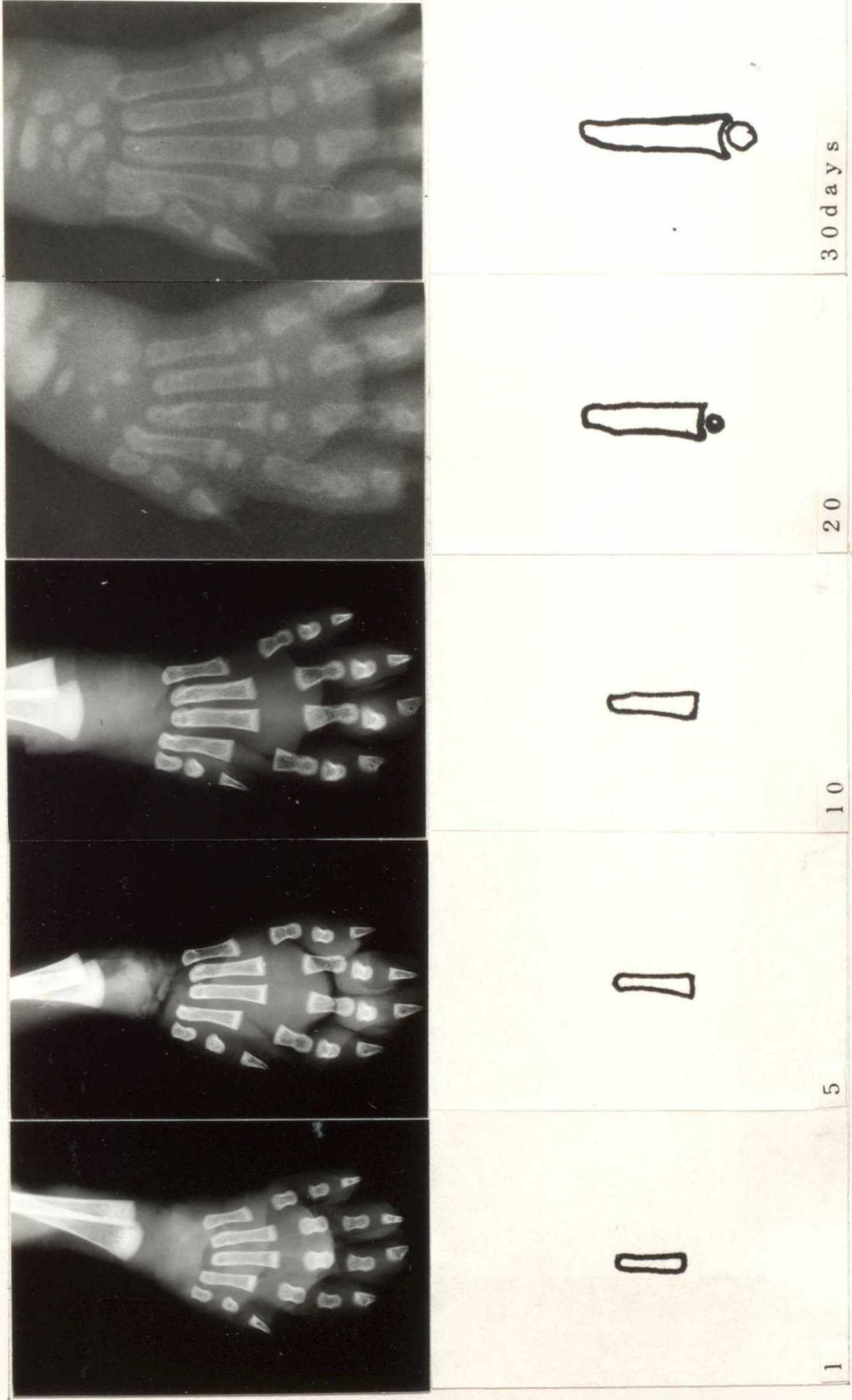


Figure 7. Radiography and sketch to figures of accessory carpal bone (Medio-lateral, 20 days-24 months)



Radiography

Sketch to fig.

Figure 8-1. Radiography and sketch to figures at distal epiphysis of 3rd metacarpal bone (Cranio-caudal, 1-30 days)

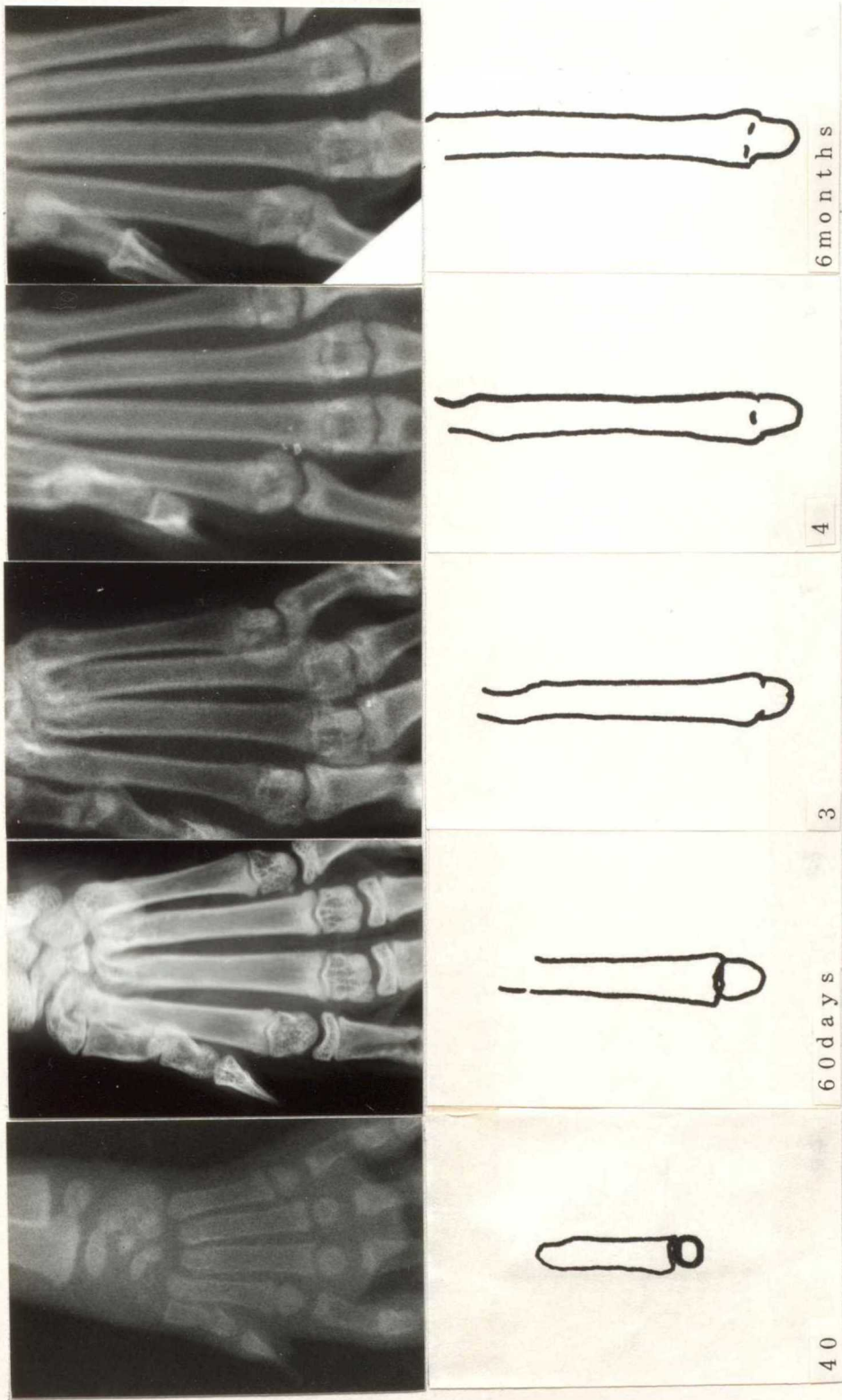


Figure 8-2. Radiography and sketch to figures at distal epiphysis of 3rd metacarpal bone (40 days—6 months)

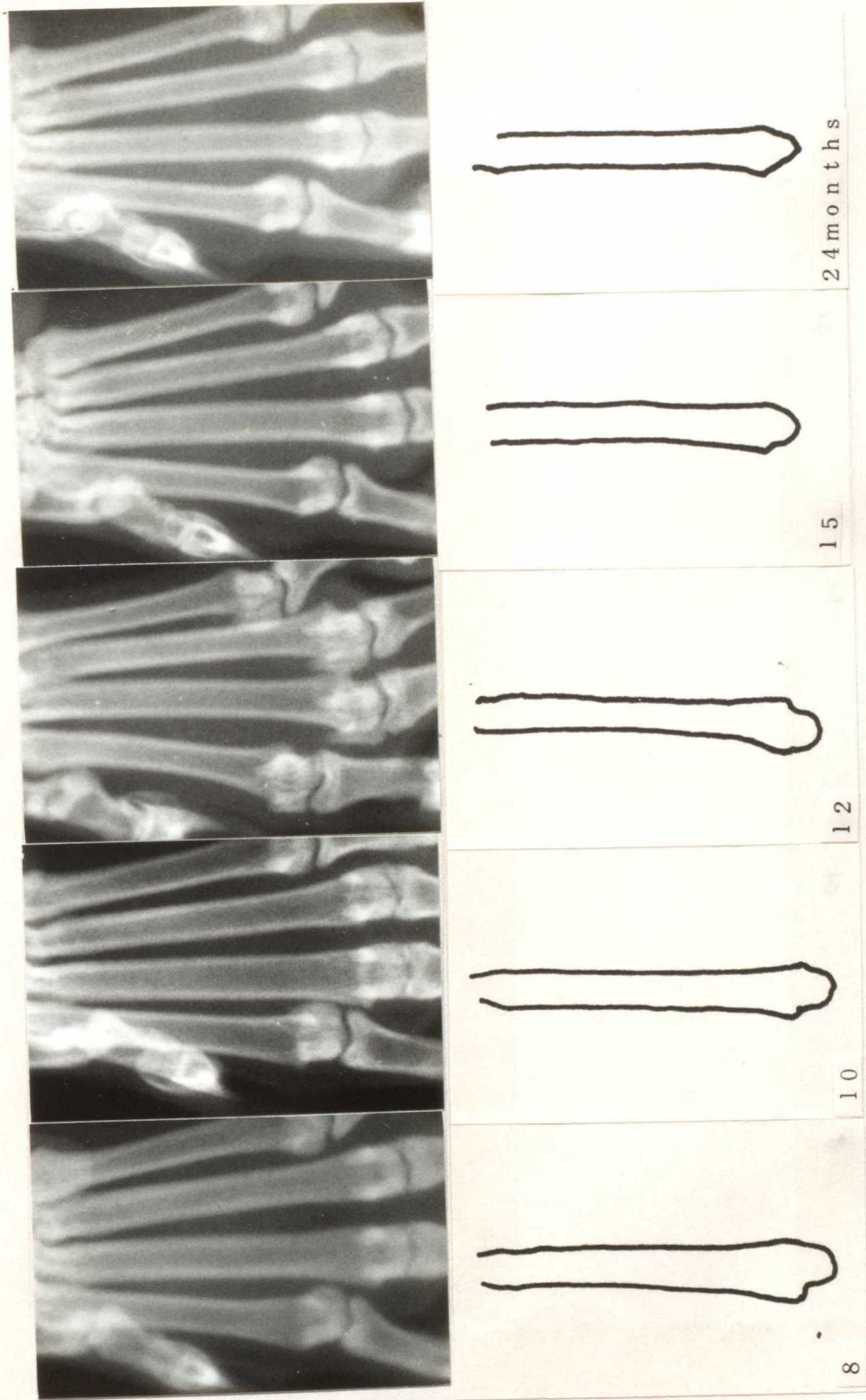
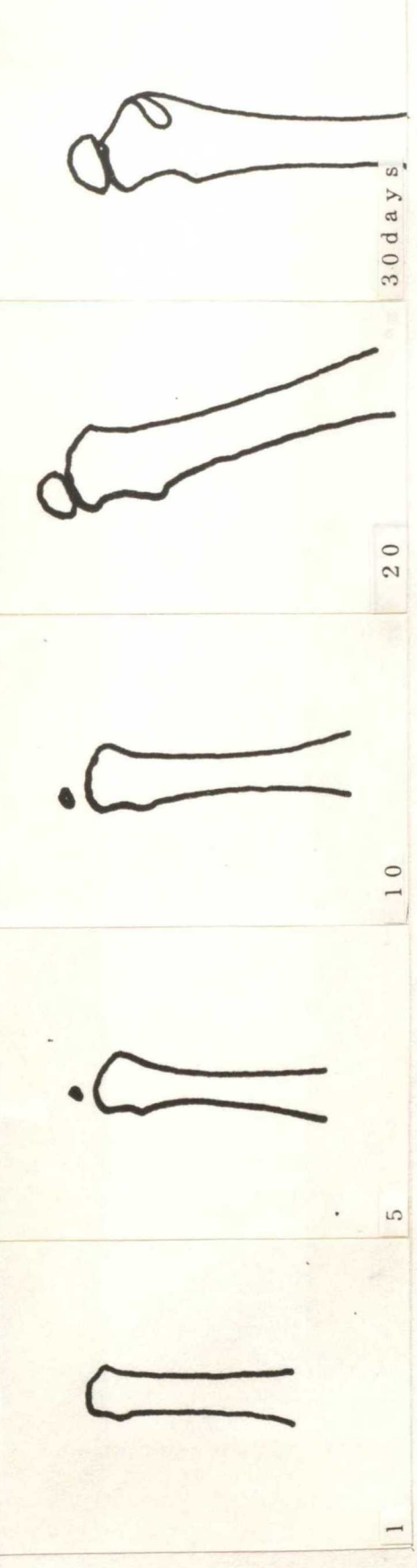


Figure 8-3. Radiography and sketch to figures at distal epiphysis of 3rd metacarpal bone (8-24 months)



Radiography



Sketch to fig.

Figure 9-1. Radiography and sketch to figures at proximal epiphysis of femur (Cranio-caudal, 1-30 days)



Figure 9-2. Radiography and sketch to figures at proximal epiphysis of femur (40 days-6 months)

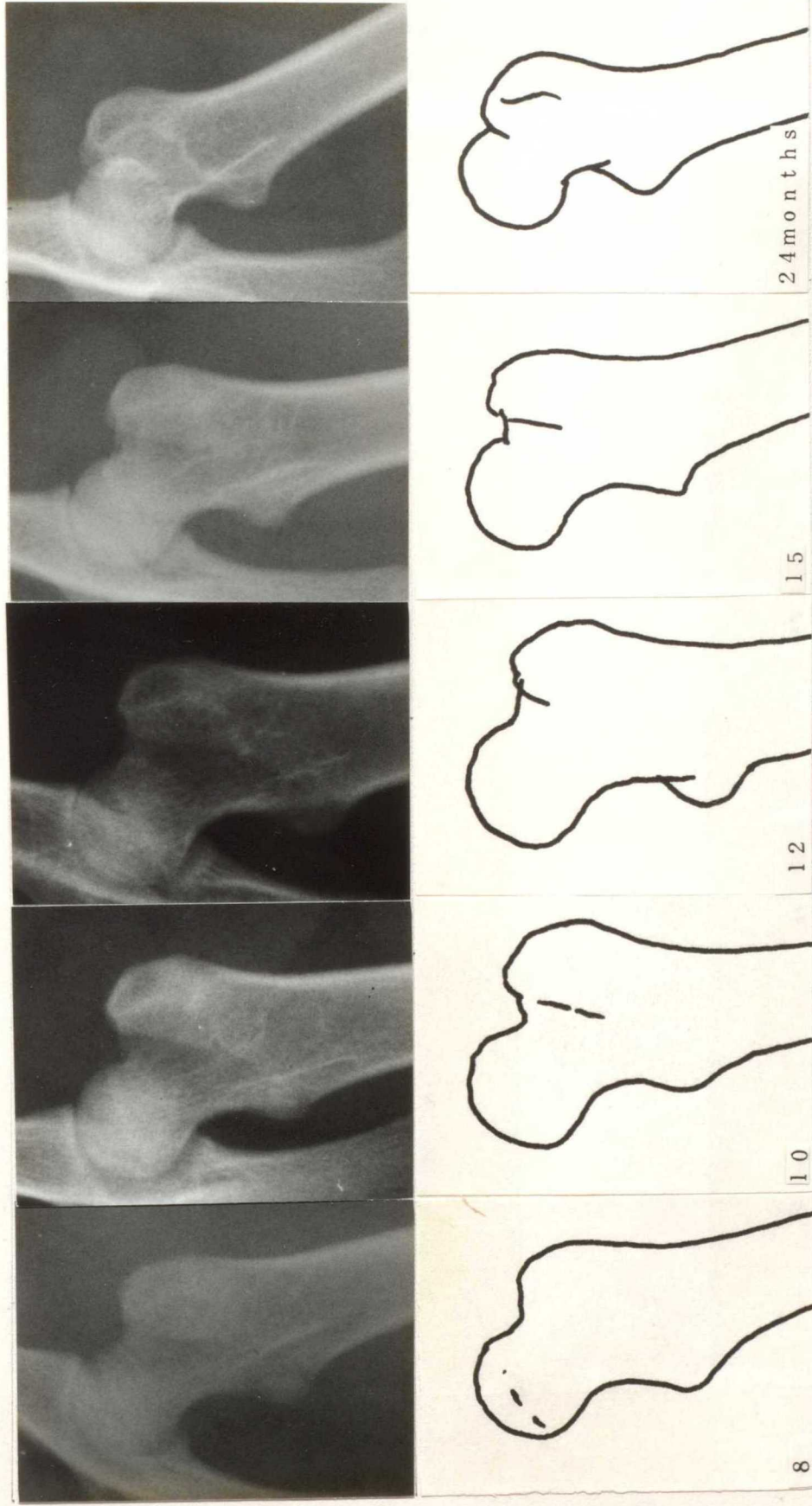
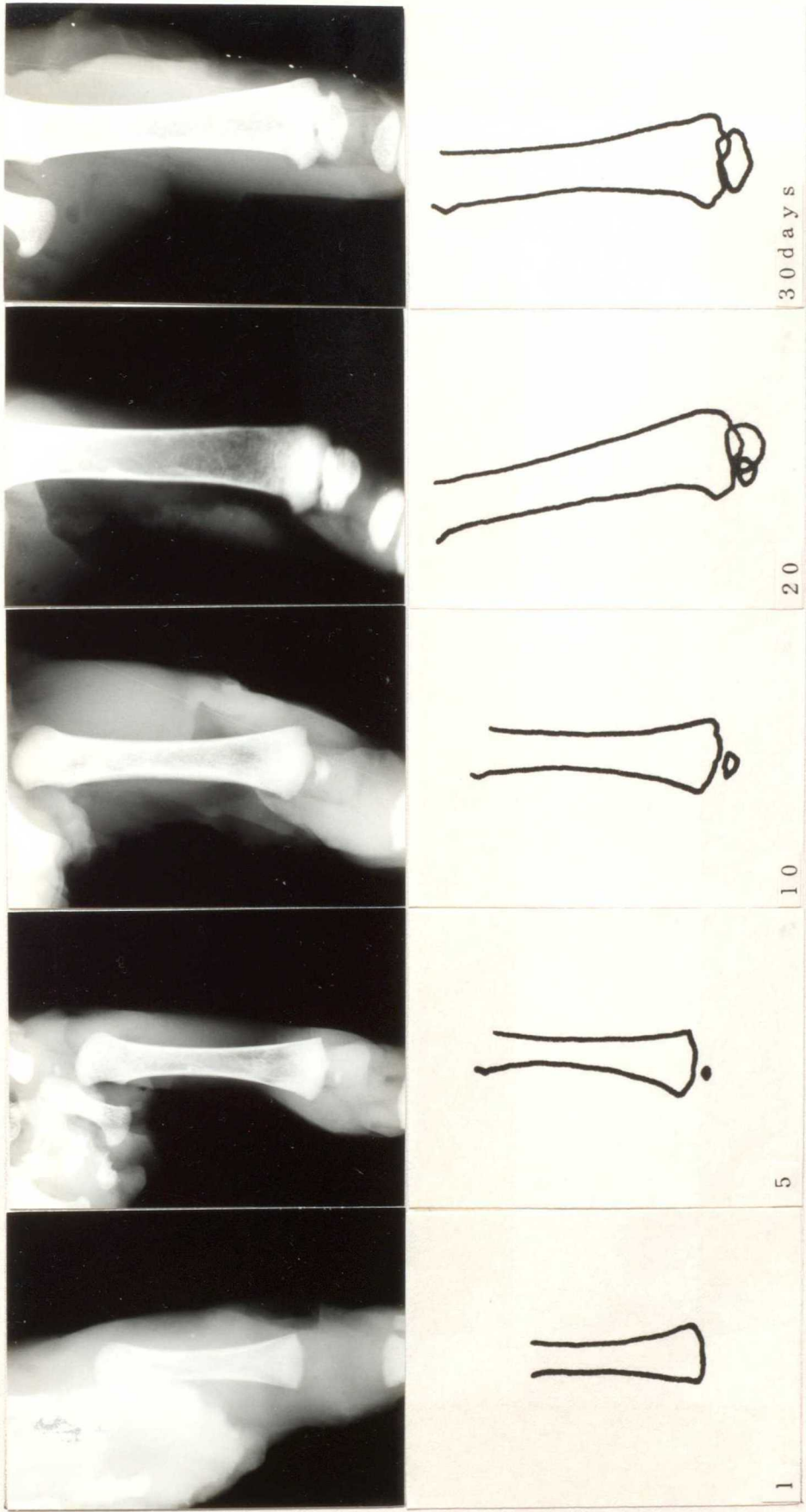


Figure 9-3. Radiography and sketch to figures at proximal epiphysis of femur (8-24 months)



Radiography

Sketch to fig.

Figure 10-1. Radiography and sketch to figures at distal epiphysis of femur (Cranio-caudal, 1-30 days)



Figure 10-2. Radiography and sketch to figures at distal epiphysis of femur (40 days-6 months)

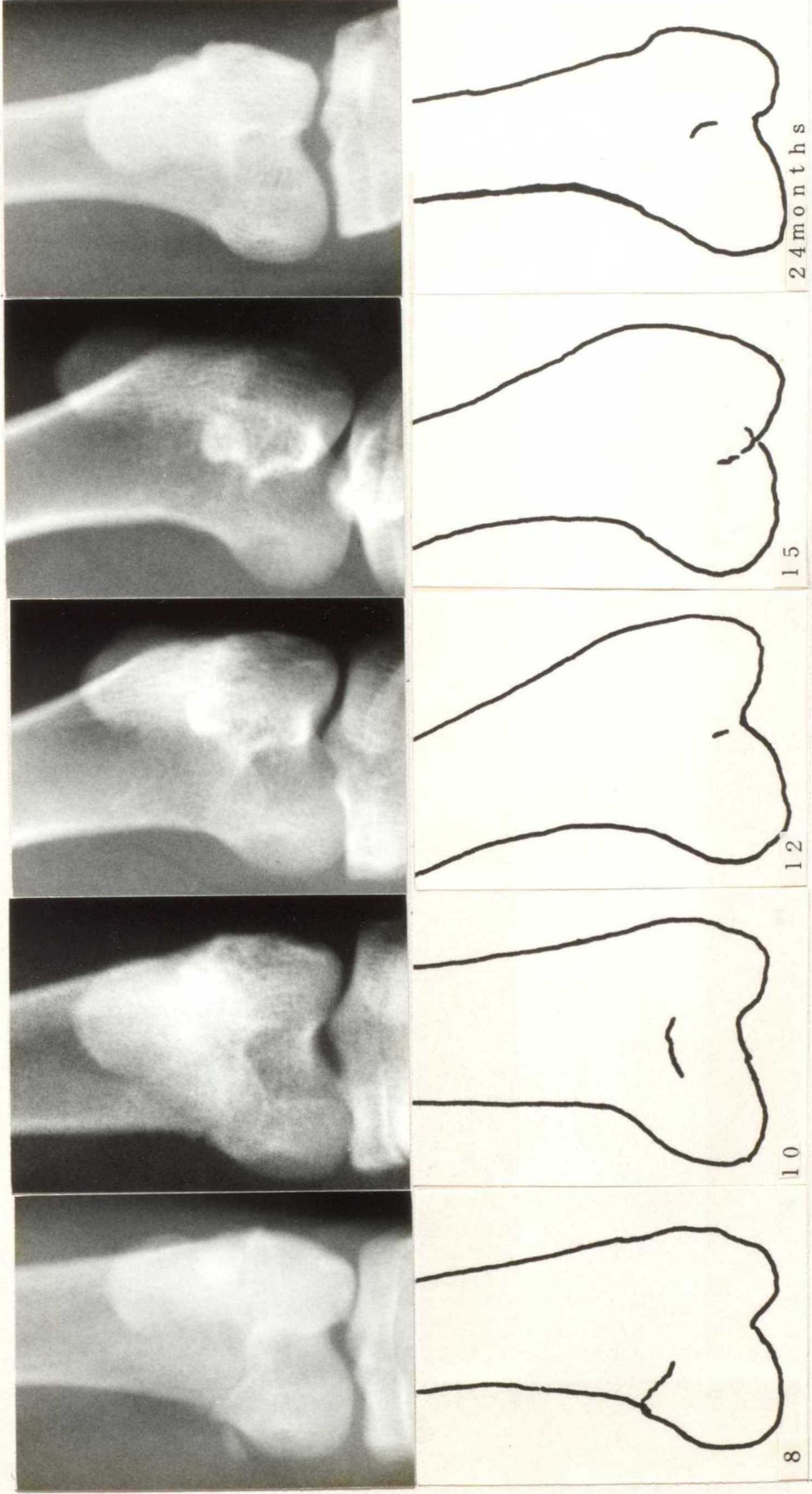
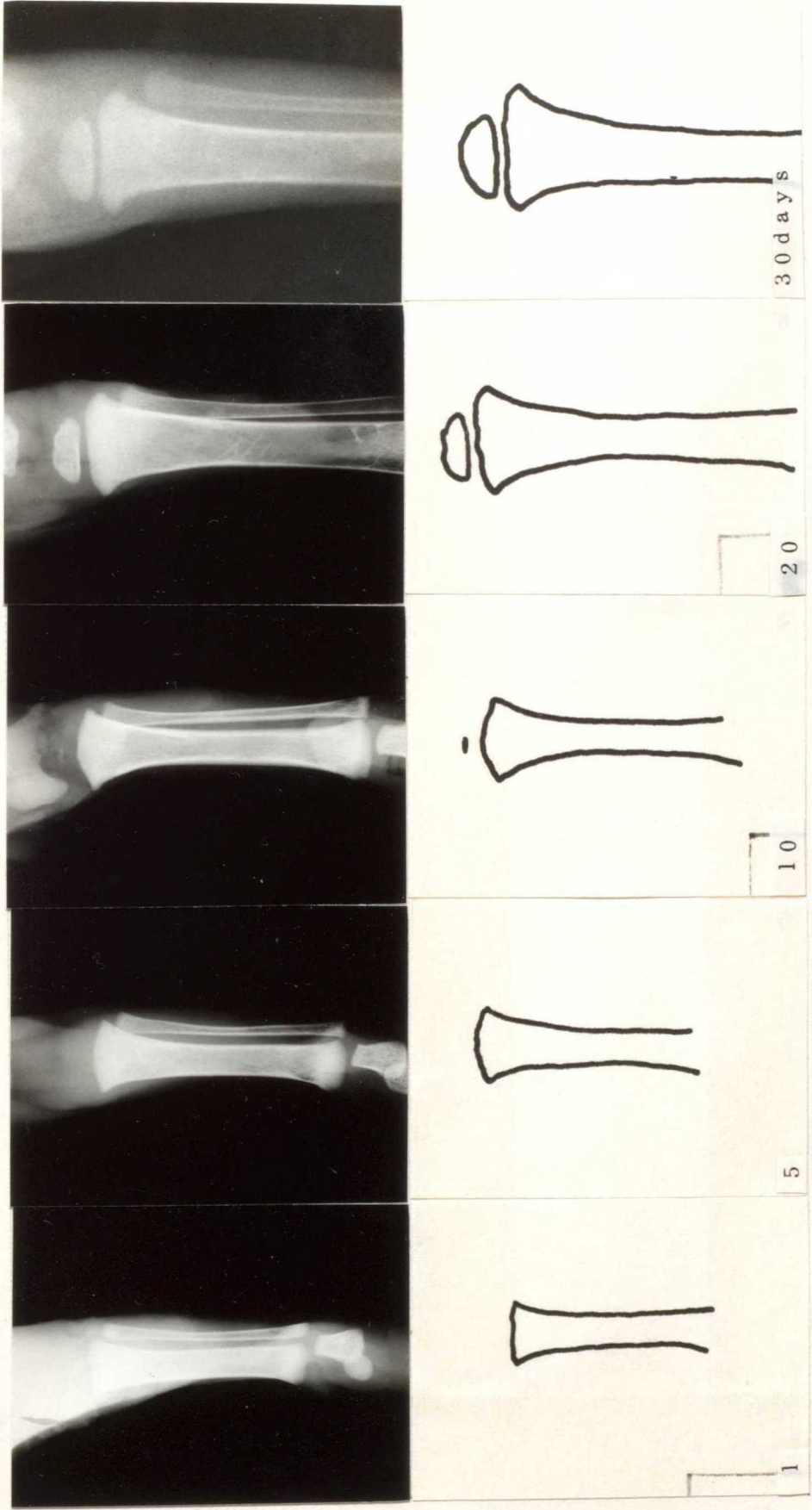


Figure 10-3. Radiography and sketch to figures at distal epiphysis of femur (8-24 months)



Radiography

Sketch to fig.

Figure 11-1. Radiography and sketch to figures at proximal epiphysis of tibia (Cranio-caudal, 1-30 days)

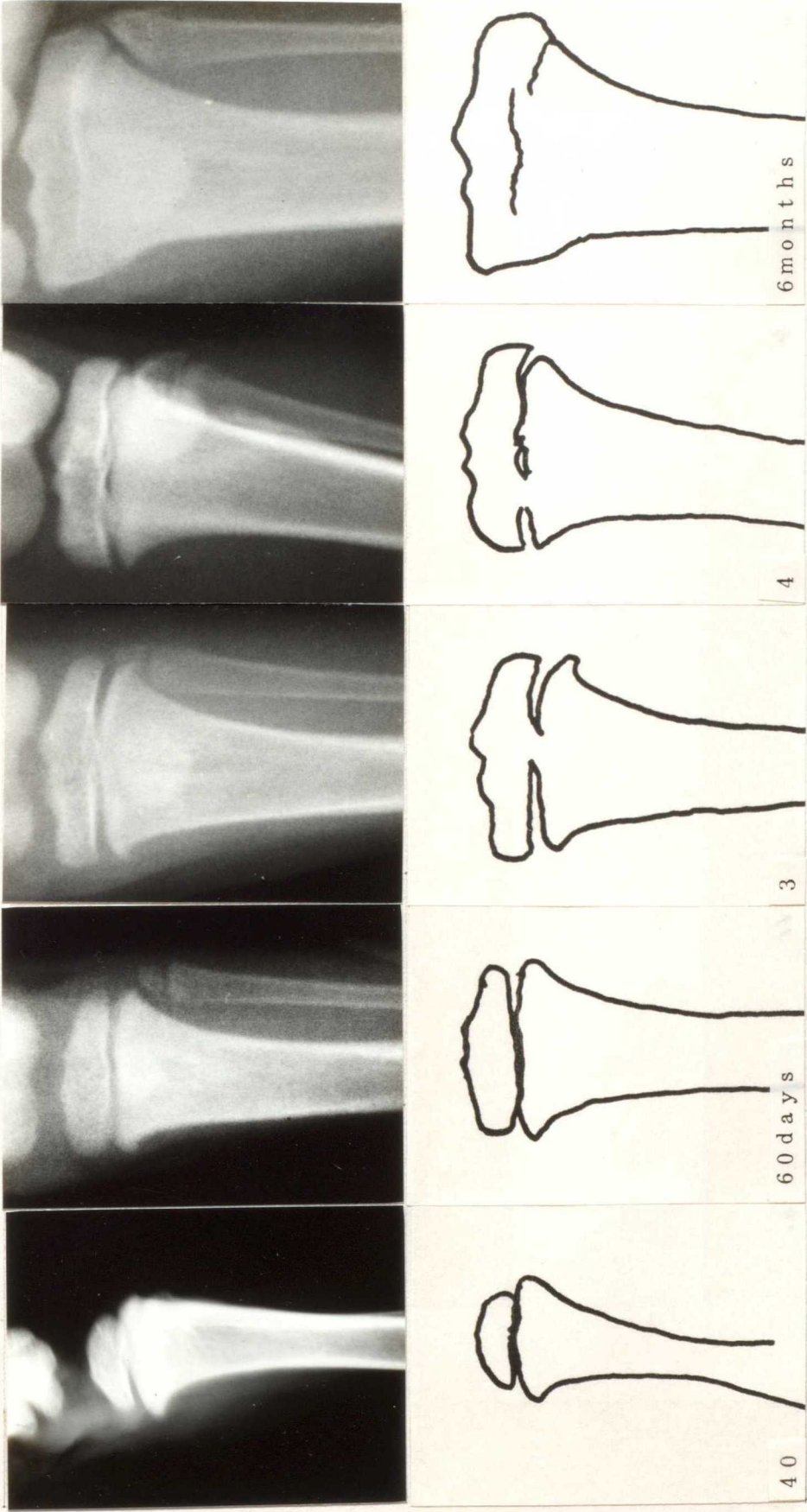


Figure 11-2. Radiography and sketch to figures at proximal epiphysis of tibia (40 days-6 months)

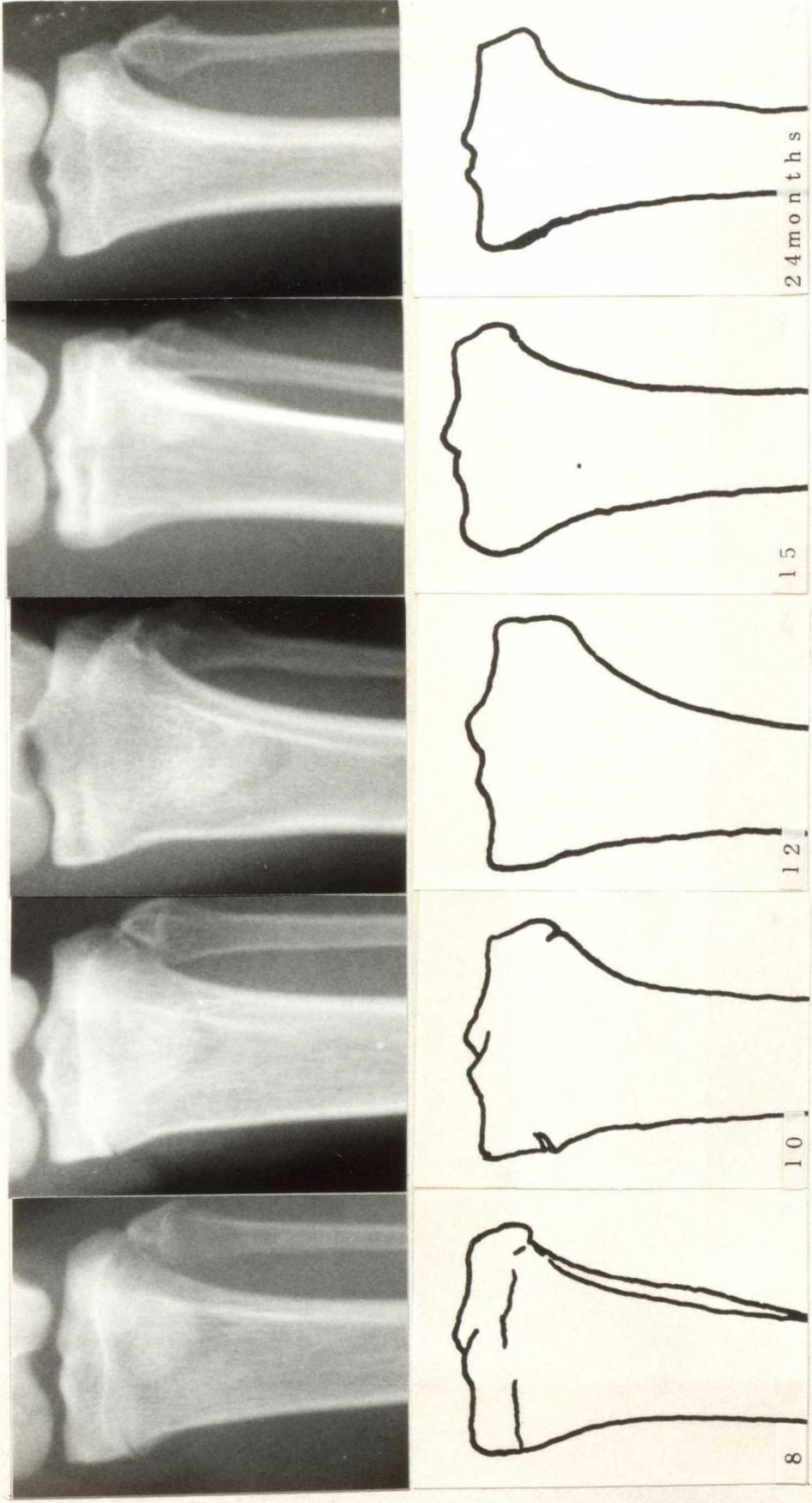
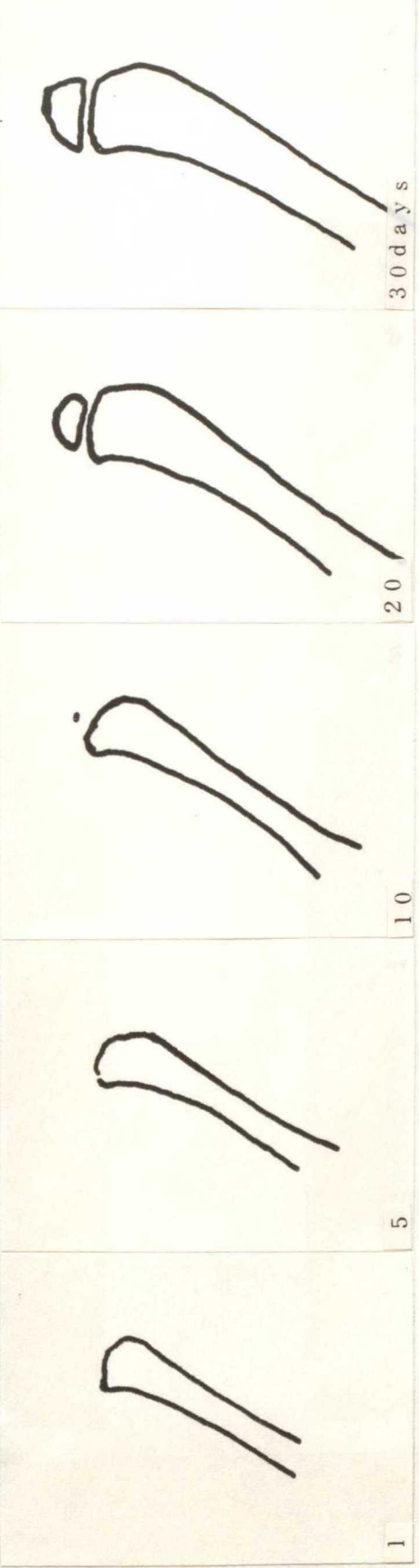


Figure 11-3. Radiography and sketch to figures at proximal epiphysis of tibia (8-24 months)



Radiography



Sketch to fig.

Figure 12-1. Radiography and sketch to figures at proximal epiphysis of tibia (Medio-lateral, 1-30 days)

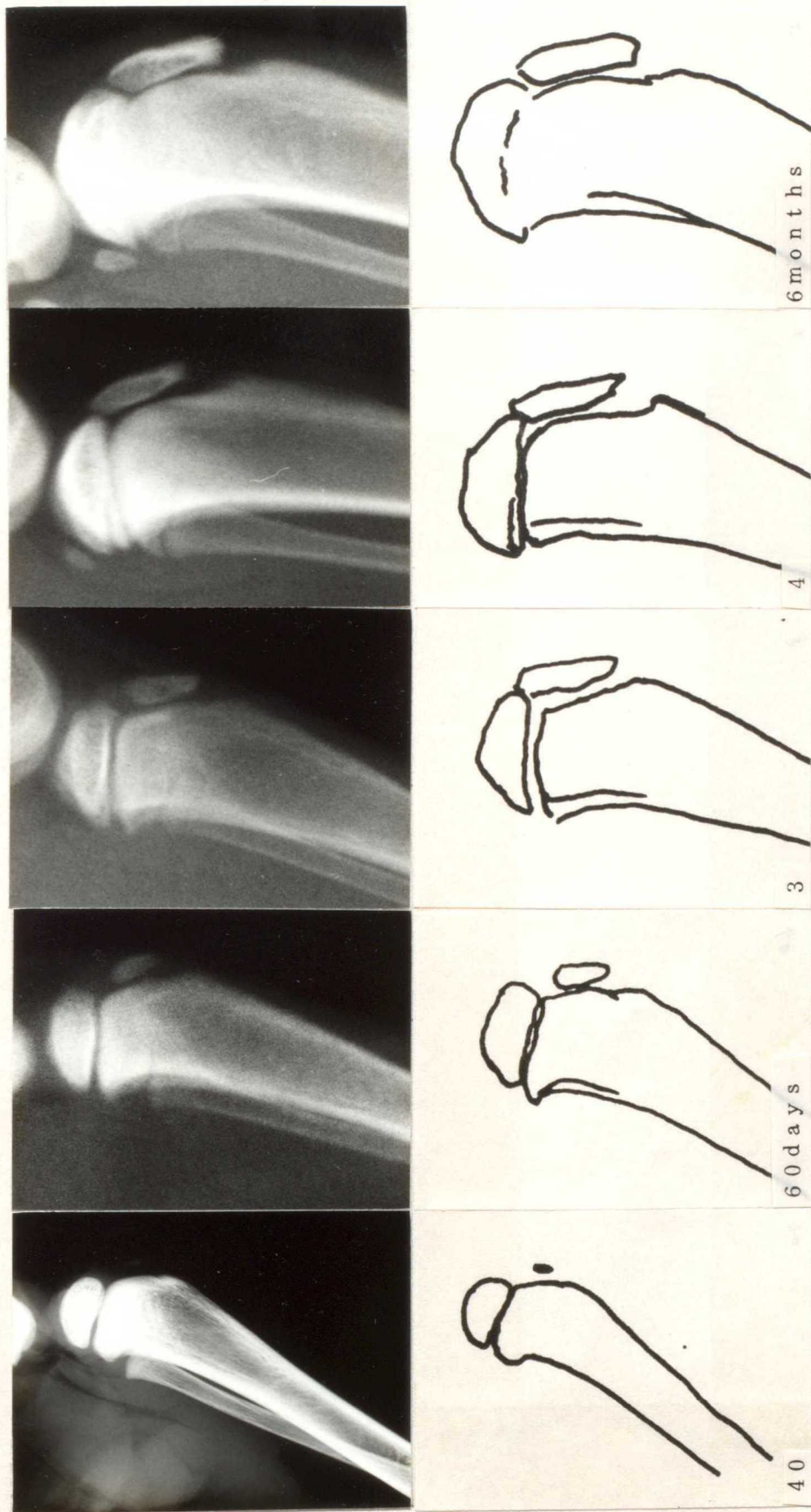


Figure 12-2. Radiography and sketch to figures at proximal epiphysis of tibia (40 days-6 months)

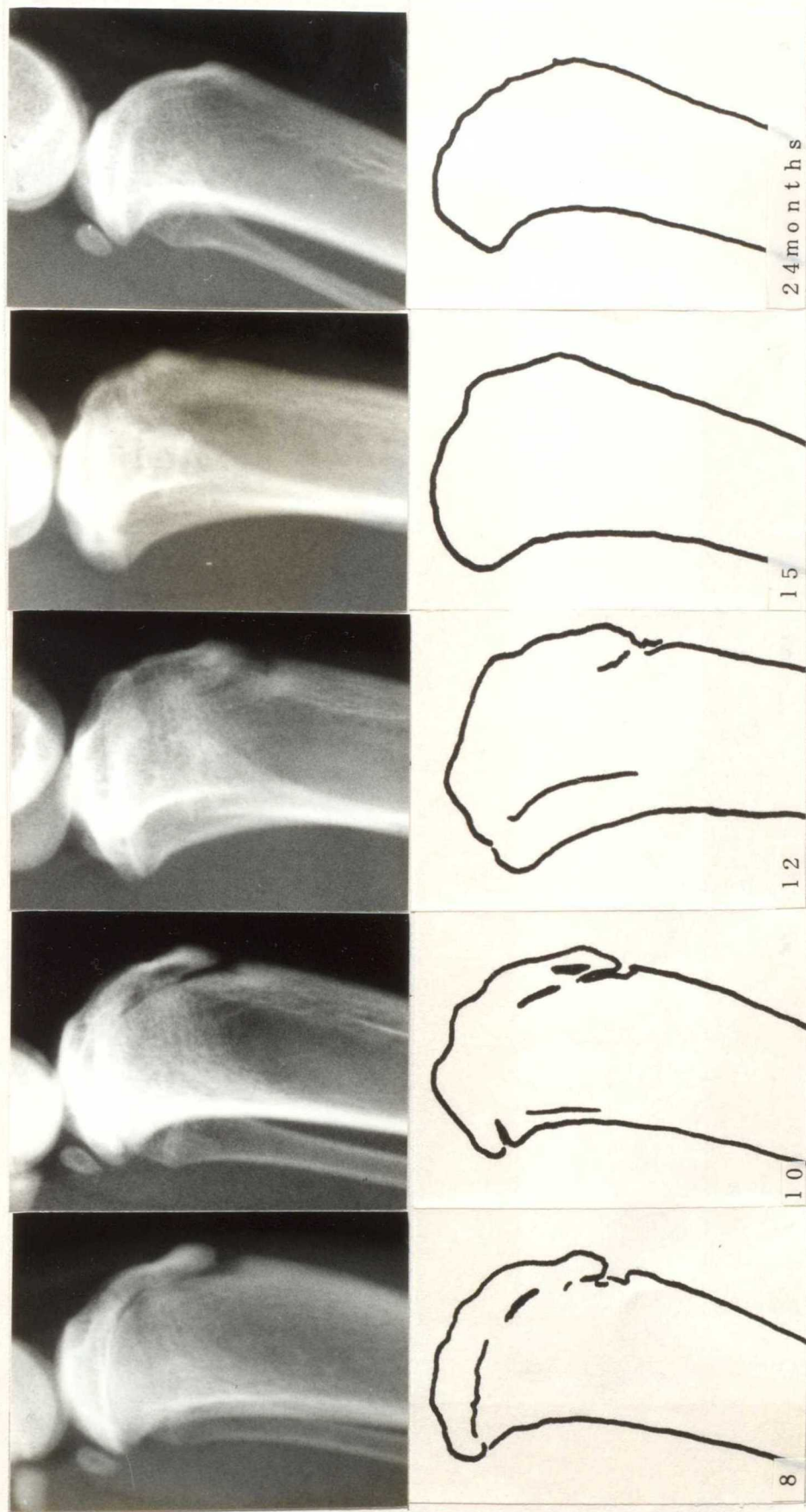


Figure 12-3. Radiography and sketch to figures at proximal epiphysis of tibia (8-24 months)

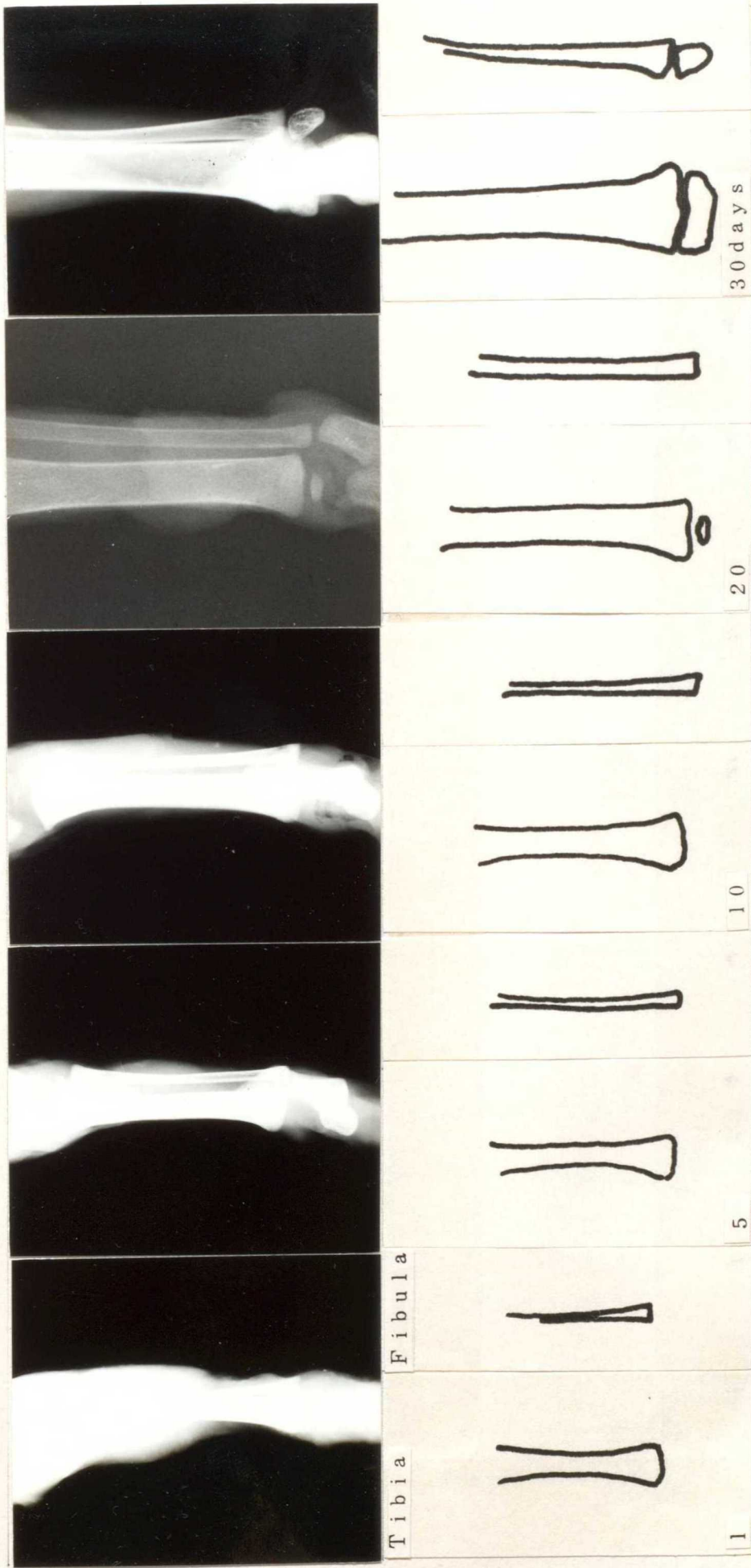


Figure 13-1. Radiography and sketch to figures at distal epiphysis of tibia and fibula (Cranio-caudal, 1-30 days)

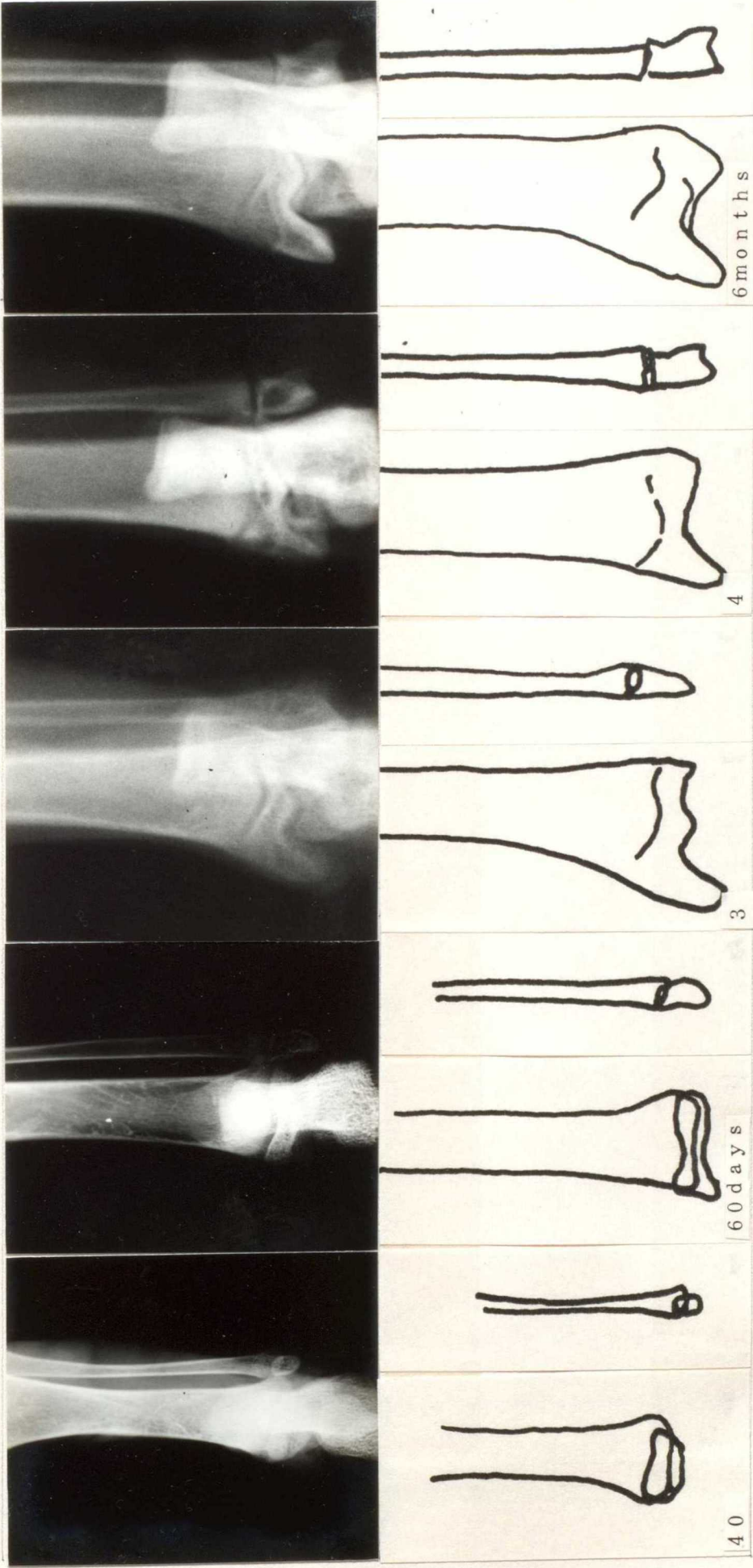


Figure 13-2. Radiography and sketch to figures at distal epiphysis of tibia and fibula (40 days-6 months)

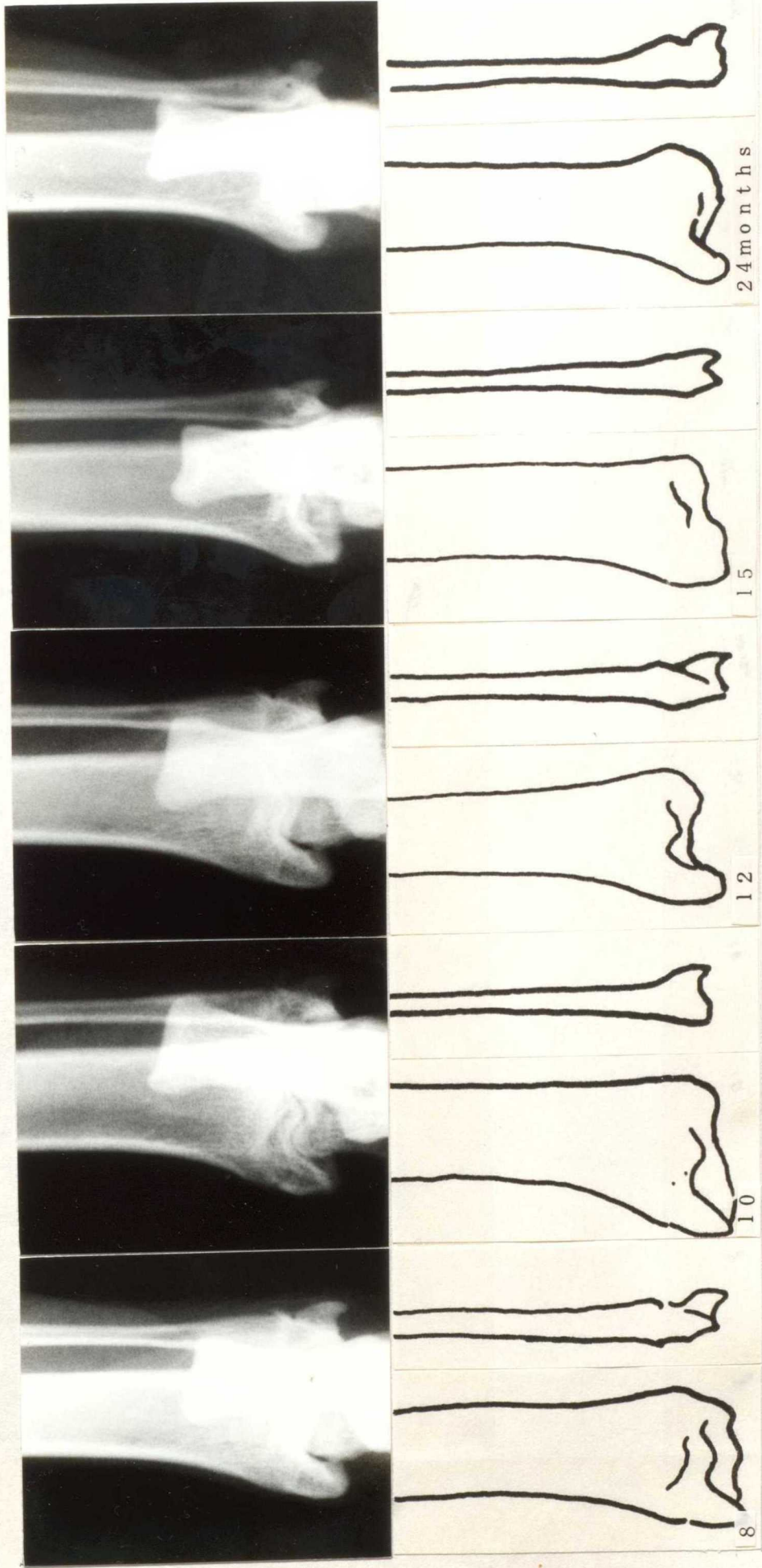
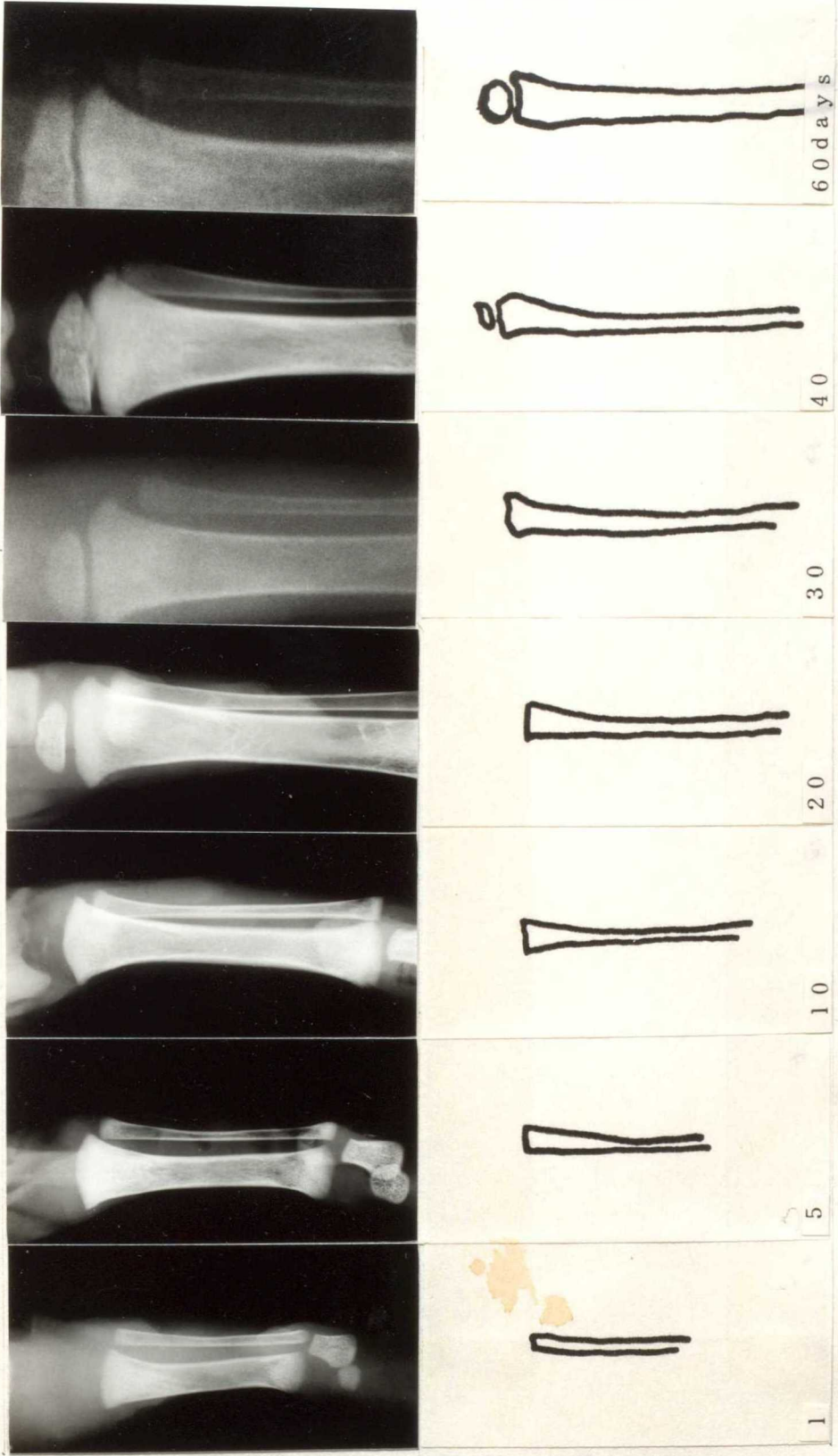


Figure 13-3. Radiography and sketch to figures at distal epiphysis of tibia and fibula (8-24 months)



Radiography

Sketch to fig.

Figure 14-1. Radiography and sketch to figures at proximal epiphysis of fibula (Cranio-caudal, 1-60 days)

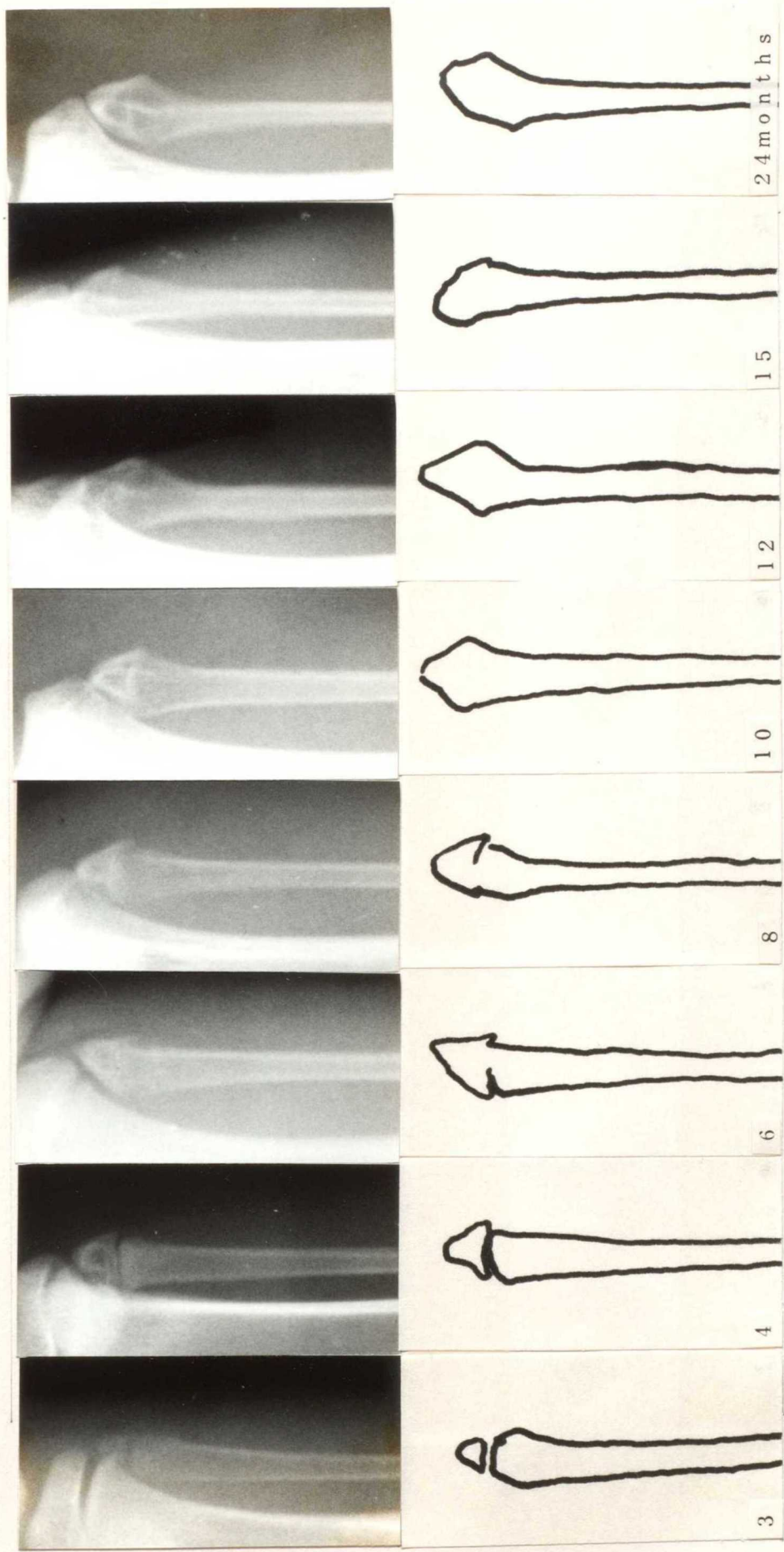
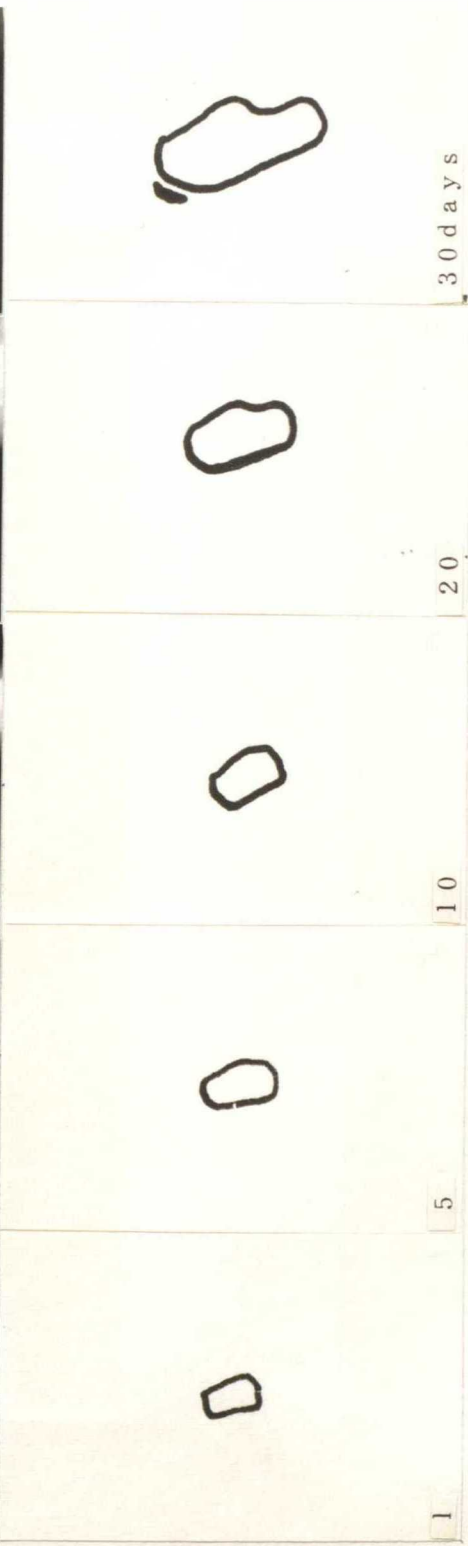


Figure 14-2. Radiography and sketch to figures at proximal epiphysis of fibula (3-24 months)



Radiography



Sketch to fig.

Figure 15-1. Radiography and sketch to figures of calcaneus bone
(Medio-lateral, 1-30 days)

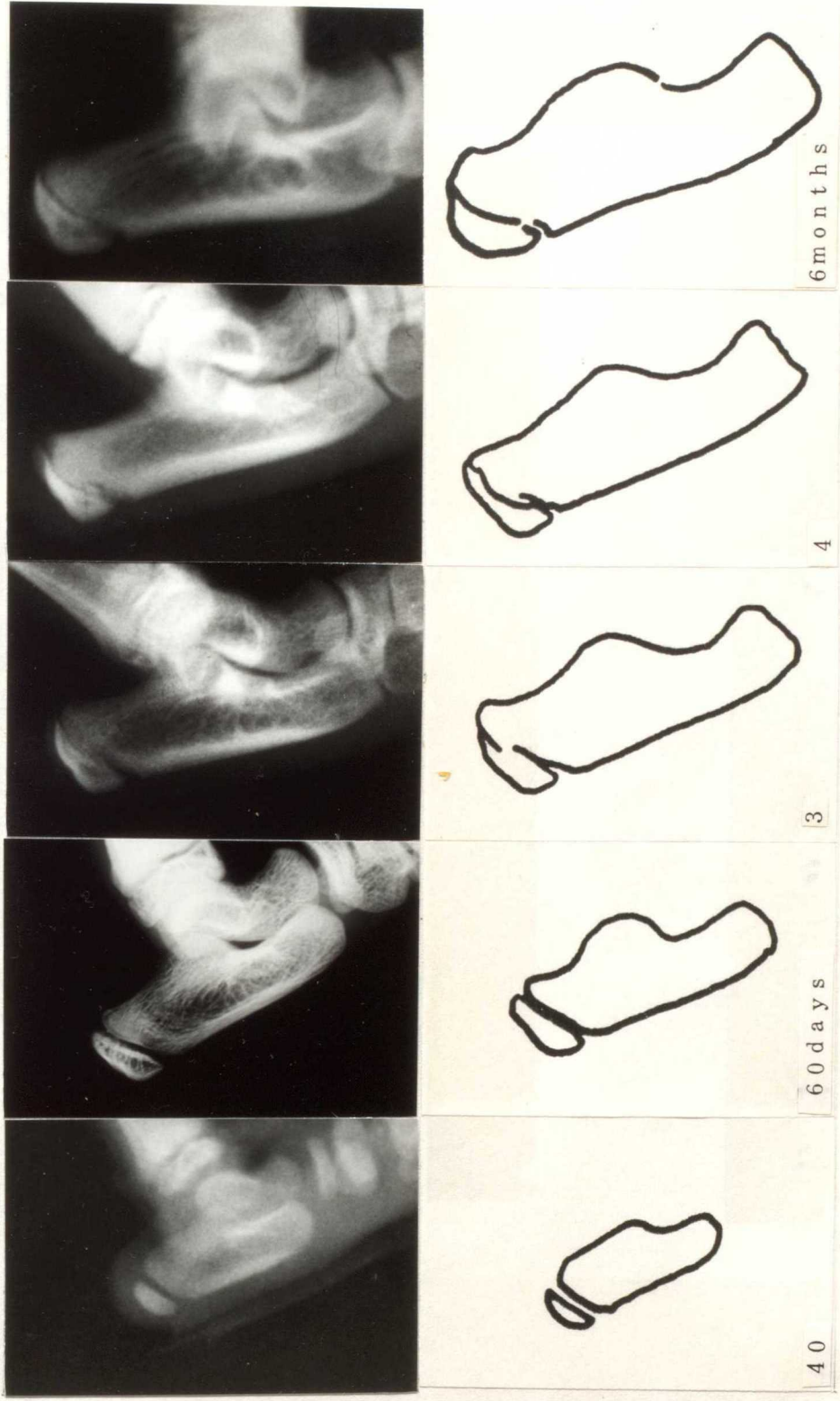


Figure 15-2. Radiography and sketch to figures of calcaneus bone (40 days-6 months)

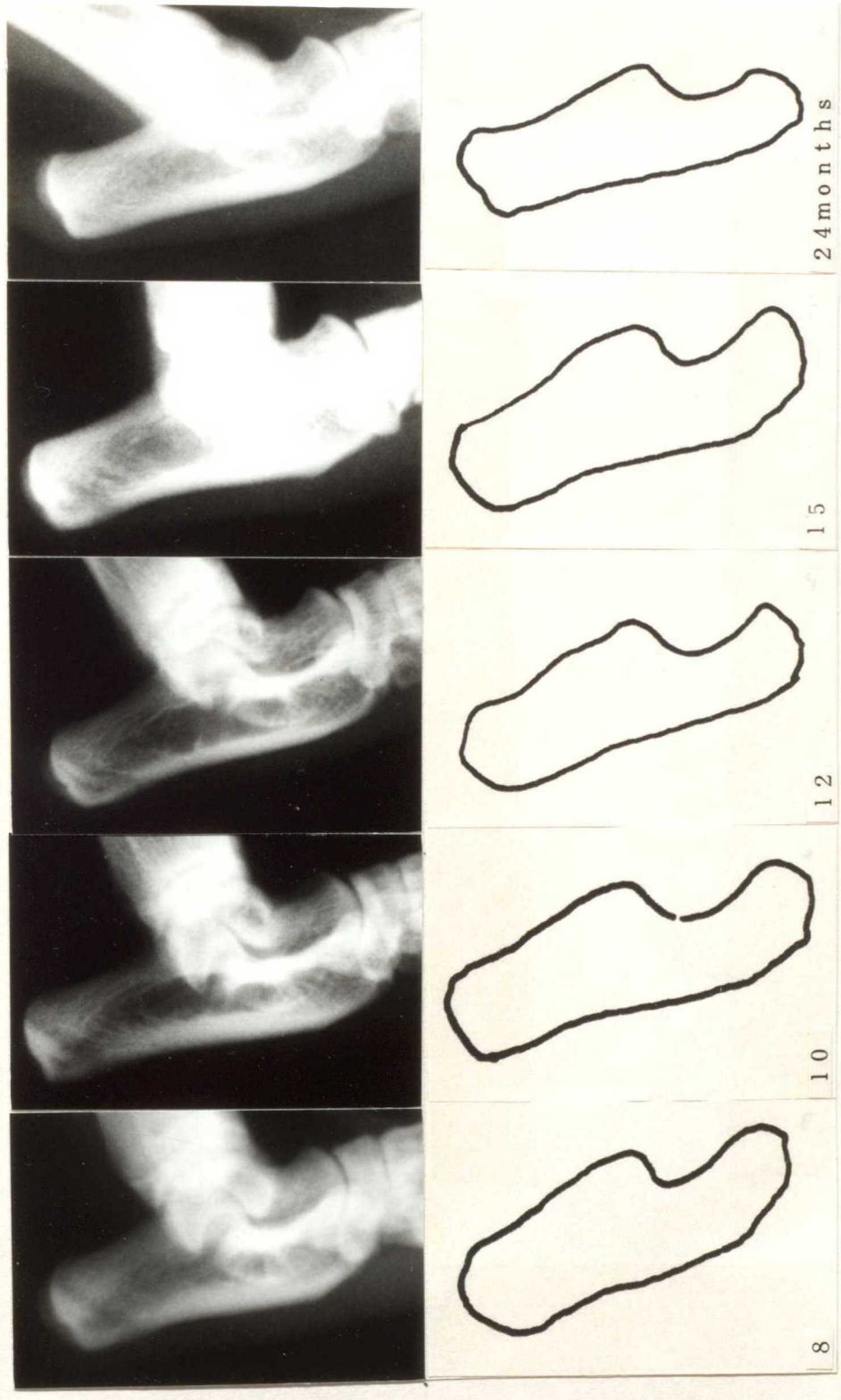
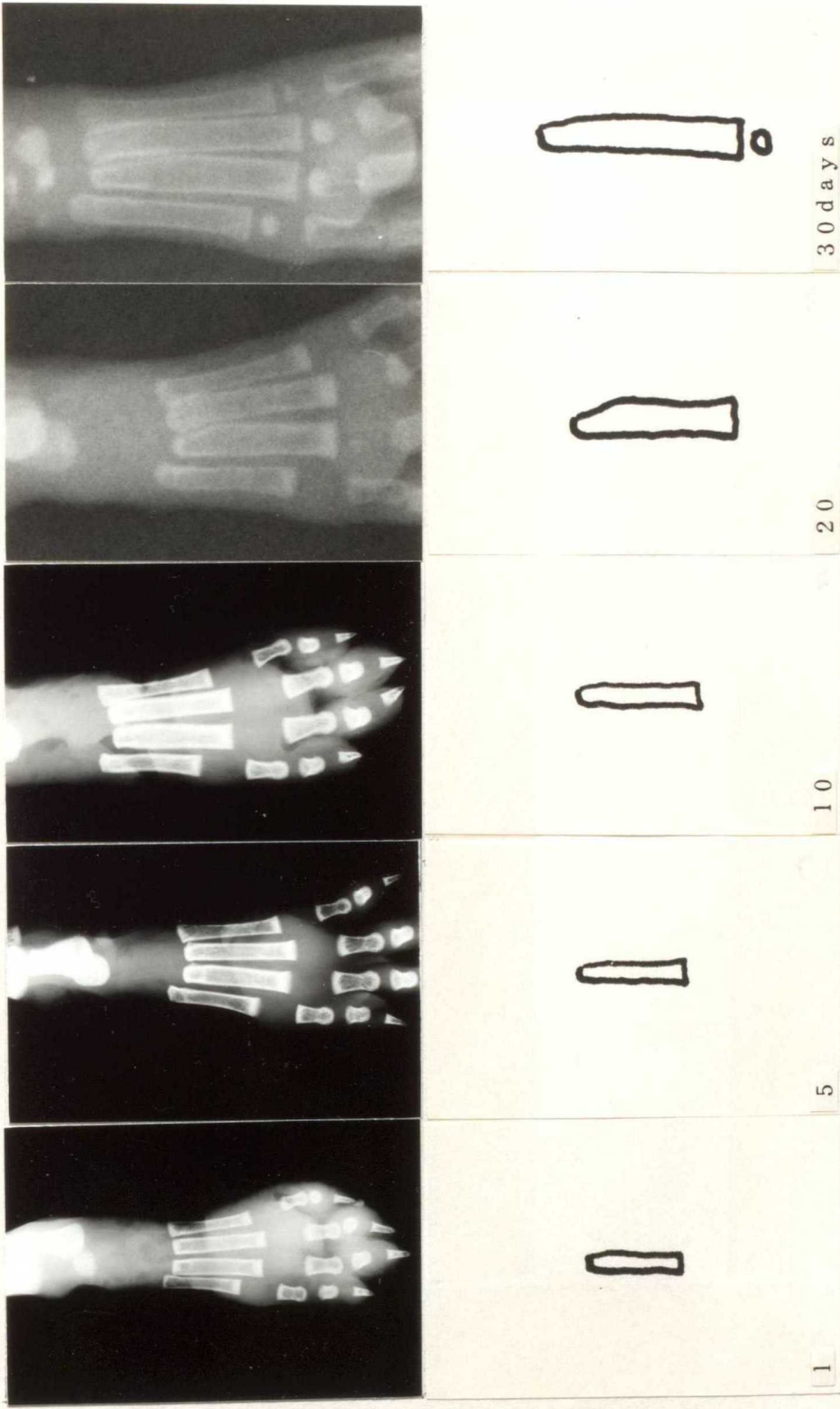


Figure 15-3. Radiography and sketch to figures of calcaneus bone (8-24 months)



Radiography

Sketch to fig.

Figure 16-1. Radiography and sketch to figures at distal epiphysis of 3rd metatarsal bone (Cranio-caudal, 1-30 days)

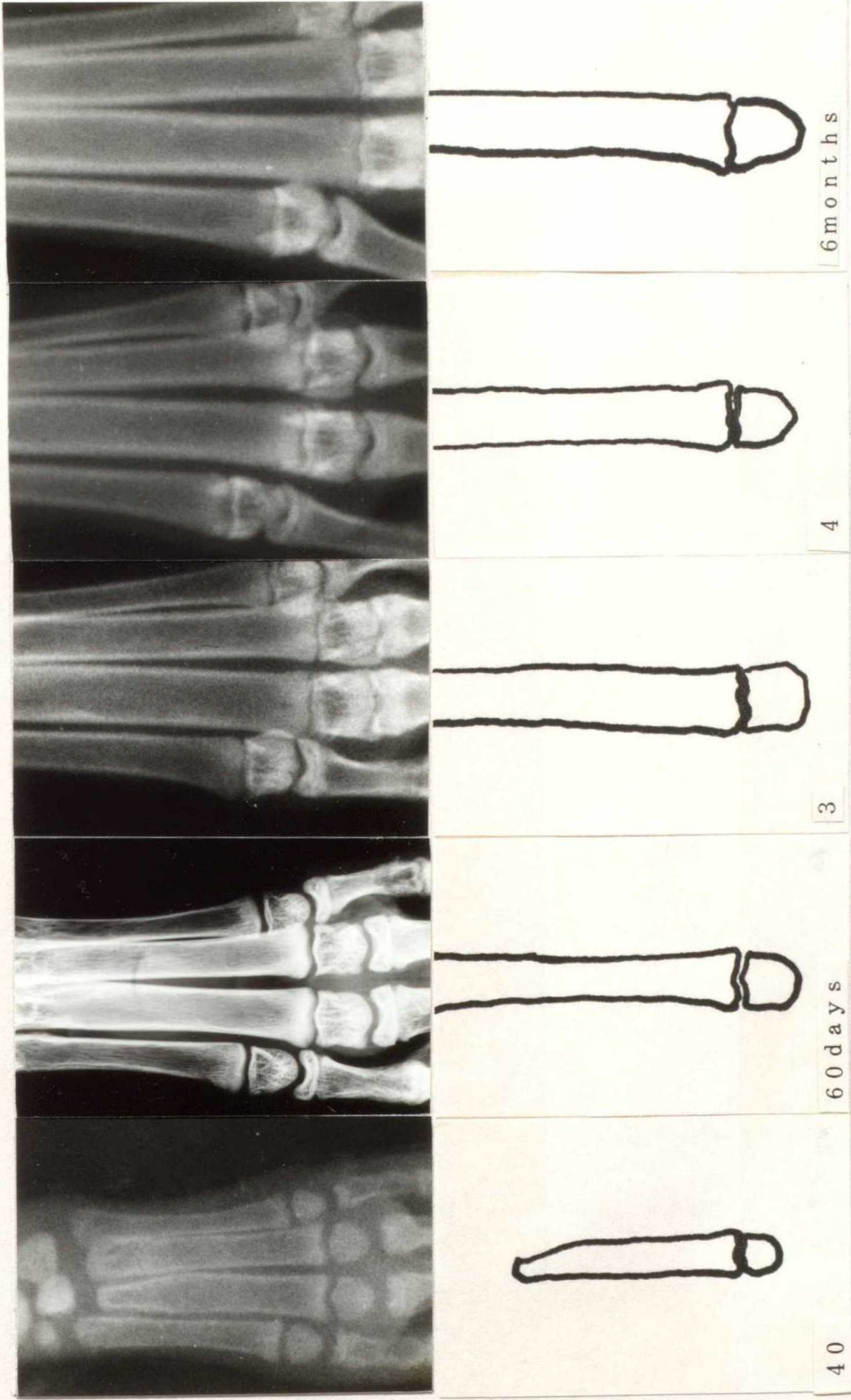


Figure 16-2. Radiography and sketch to figures at distal epiphysis of 3rd metatarsal bone (40 days-6 months.)

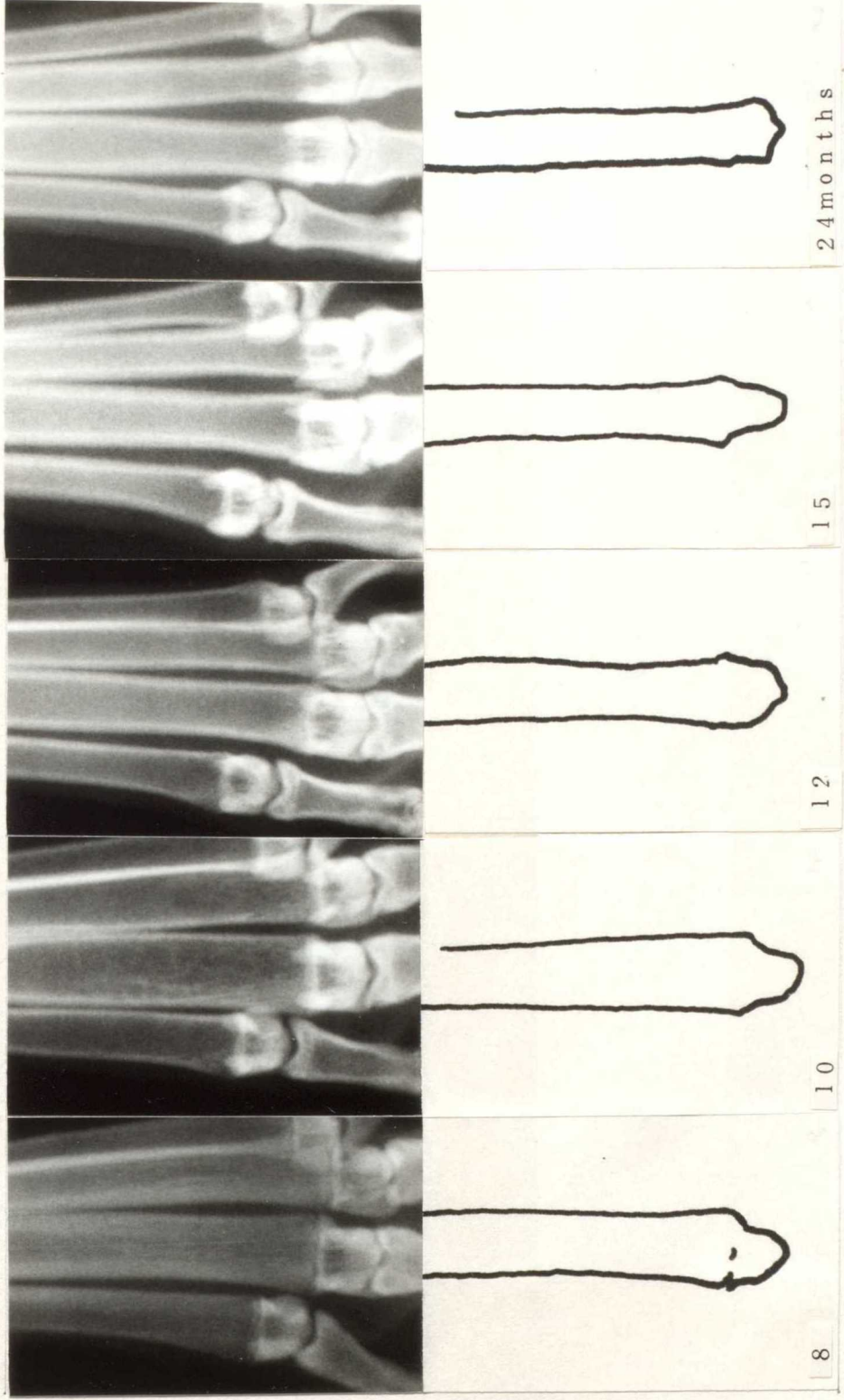


Figure 16-3. Radiography and sketch to figures at distal epiphysis of 3rd metatarsal bone (8-24 months)

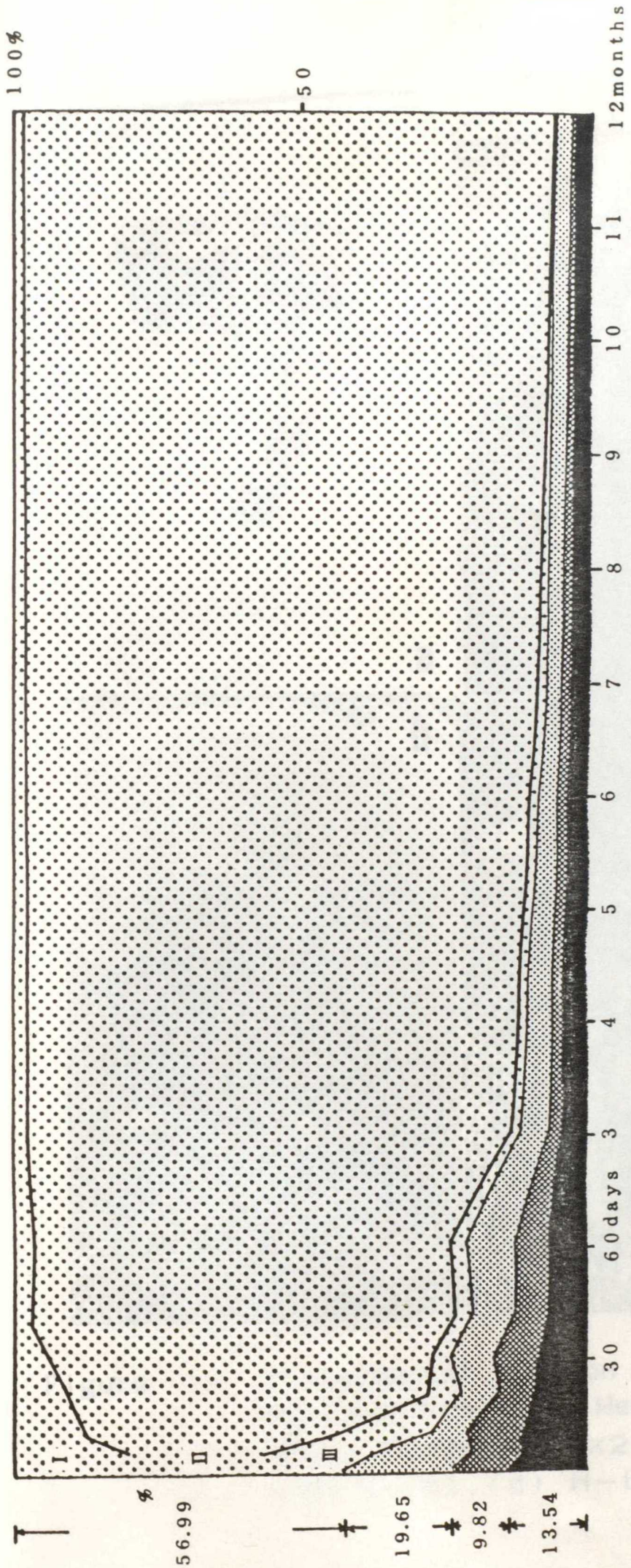


Figure 17. Changes at proximal epiphysis growth zone of humerus attend on aging

- I: Zone of resting cartilage from articular portio to lateral margin of ossification centers.
 - II: Part of ossification center contained zone of cell proliferation and maturation.
 - III: Zone of resting cartilage at medial margin of ossification centers.
- Zone of resting cartilage
 - Zone of cell proliferation
 - Zone of cell maturation
 - Zone of calcification

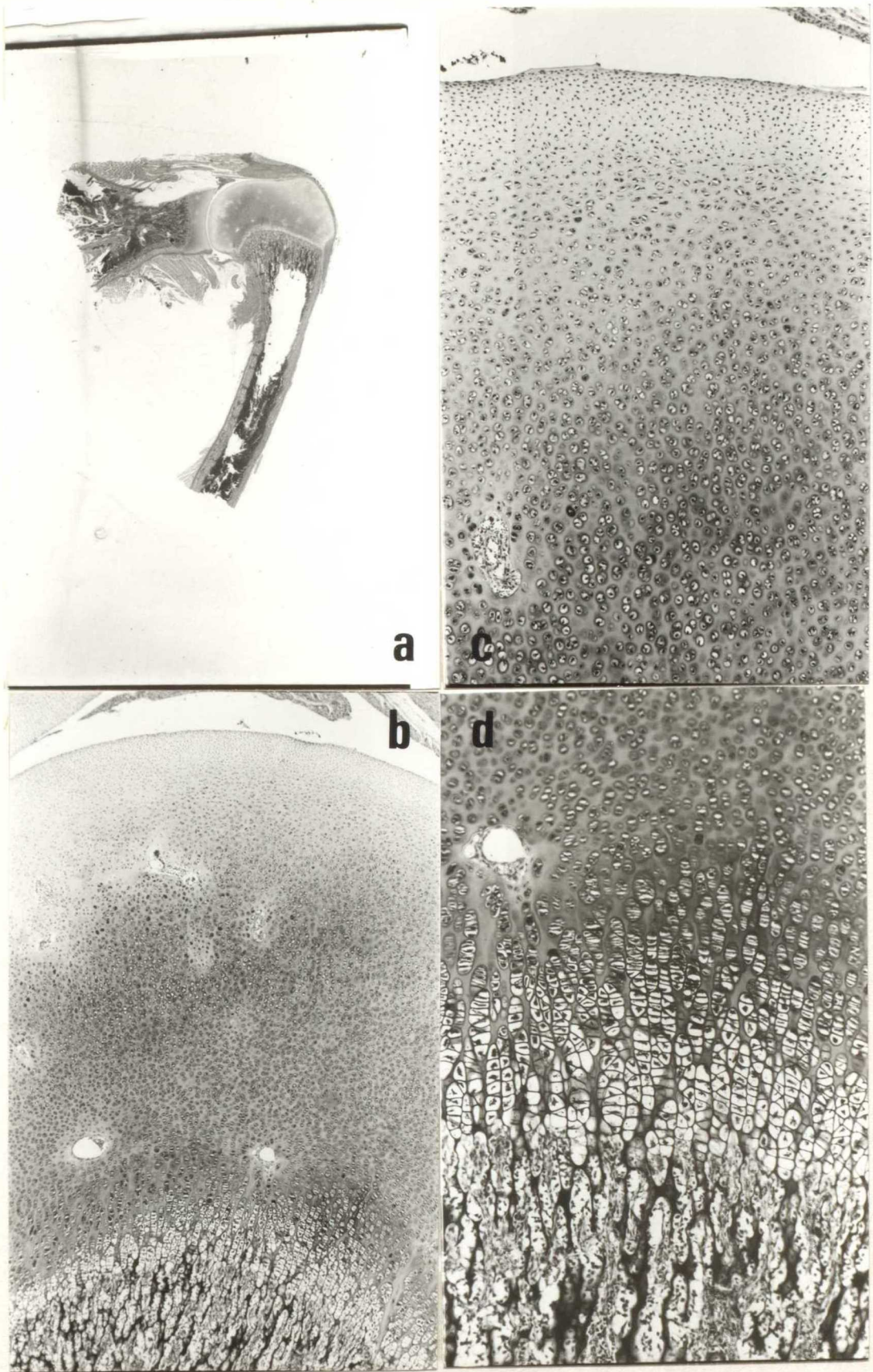


Figure 18 Histological view on growth zone of humerus(1 day). (a) Hematoxyline-Eosin stain(H-E), x2.96 (b) H-E, x30.3 (c), (d) H-E, x75.1

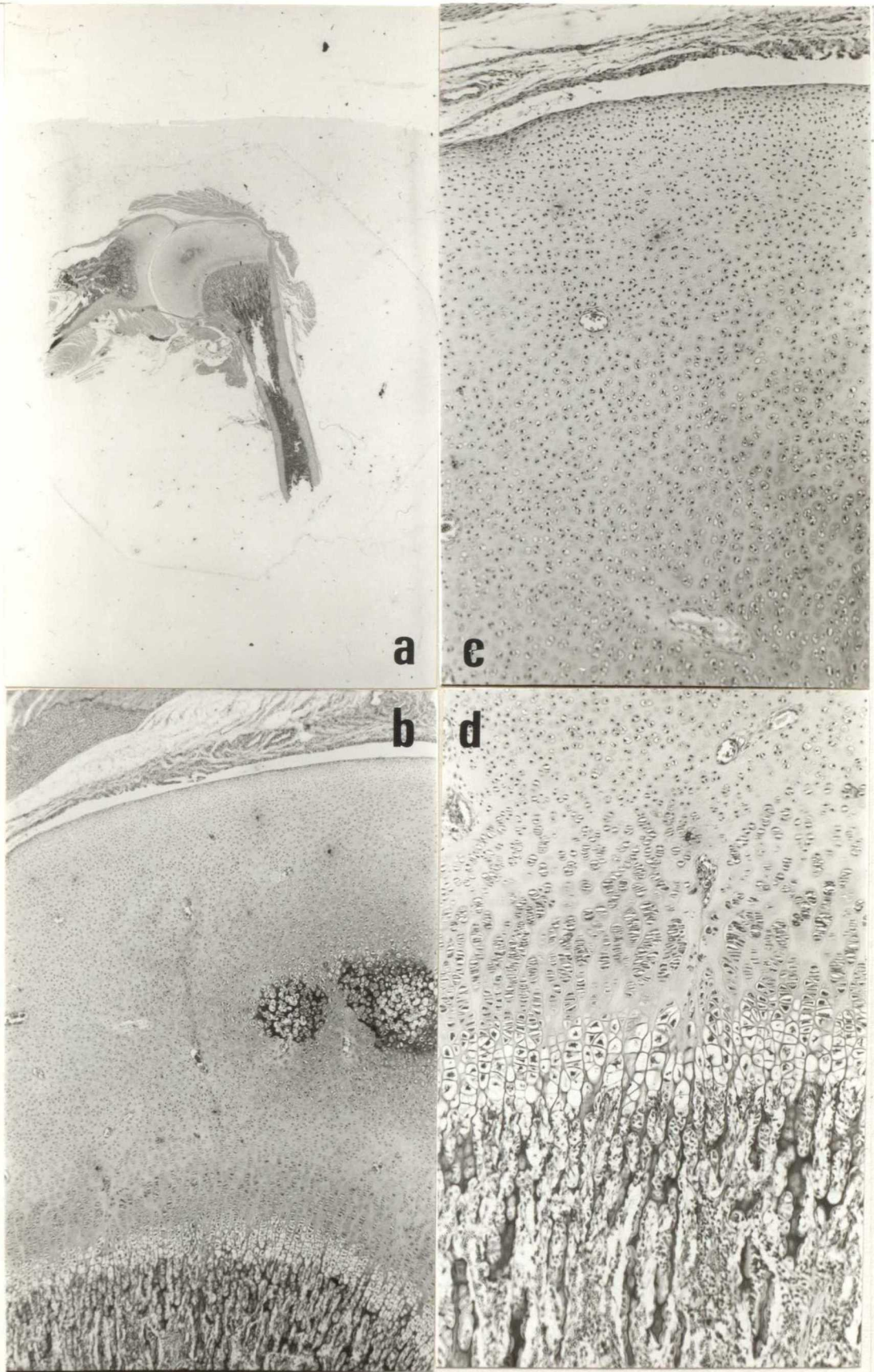


Figure 19 Histological view on growth zone of humerus(5days). (a) Hematoxiline-Eosin stain(H-E),x2.96 (b) H-E, x30.3 (c), (d) H-E,x75.1

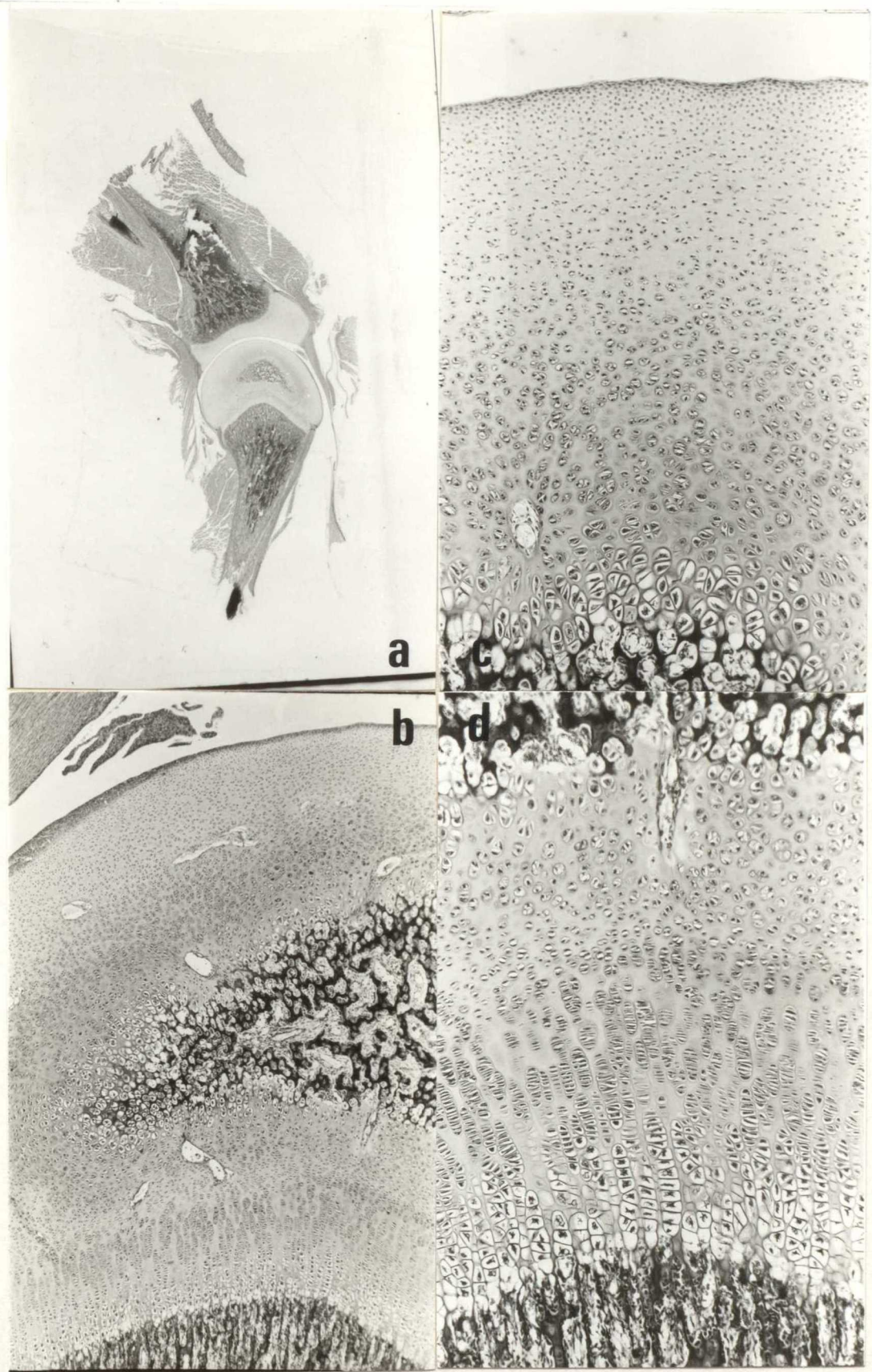


Figure 20 Histological view on growth zone of humerus(10days). (a) Hematoxyline-Eosin stain(H-E),x2.96 (b) H-E, x30.3 (c), (d) H-E ,x75.1

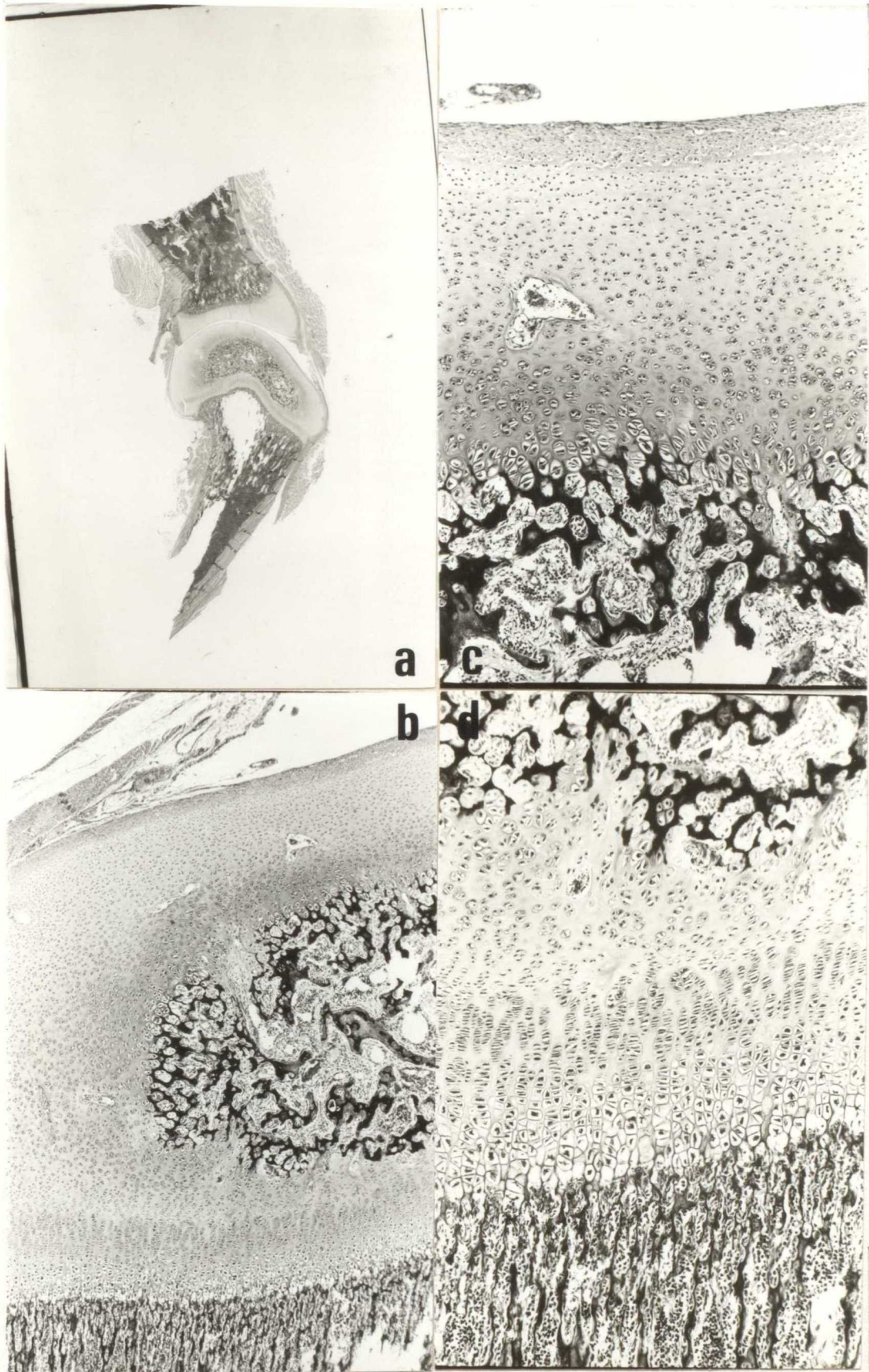


Figure 21 Histological view on growth zone of humerus(20days). (a) Hematoxyline-Eosin stain(H-E), x2.96 (b) H-E, x30.3 (c), (d) H-E, x75.1

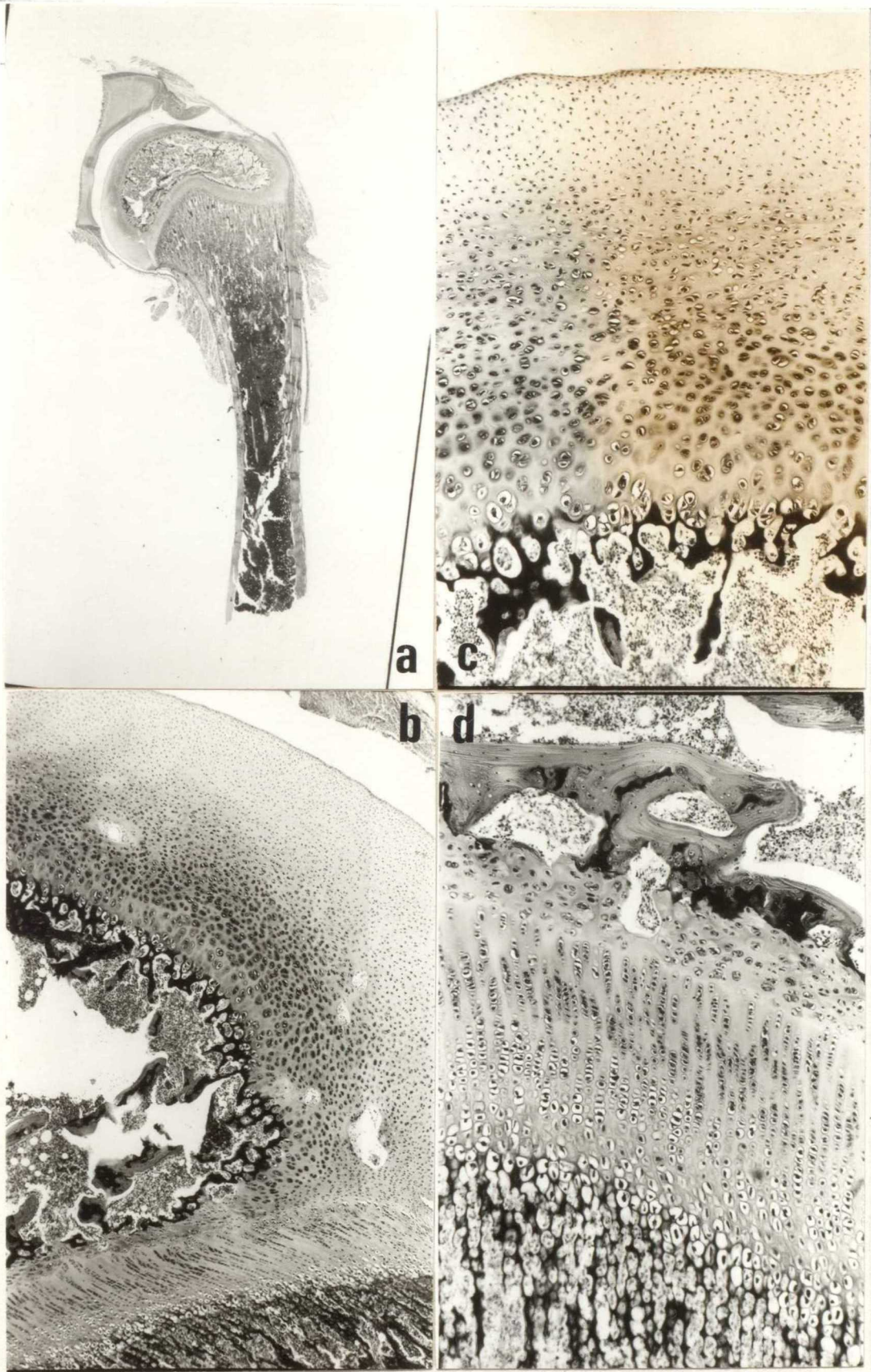


Figure 22 Histological view on growth zone of humerus(30days). (a) Hematoxyline-Eosin stain(H-E), x2.96 (b) H-E, x30.3 (c), (d) H-E, x75.1

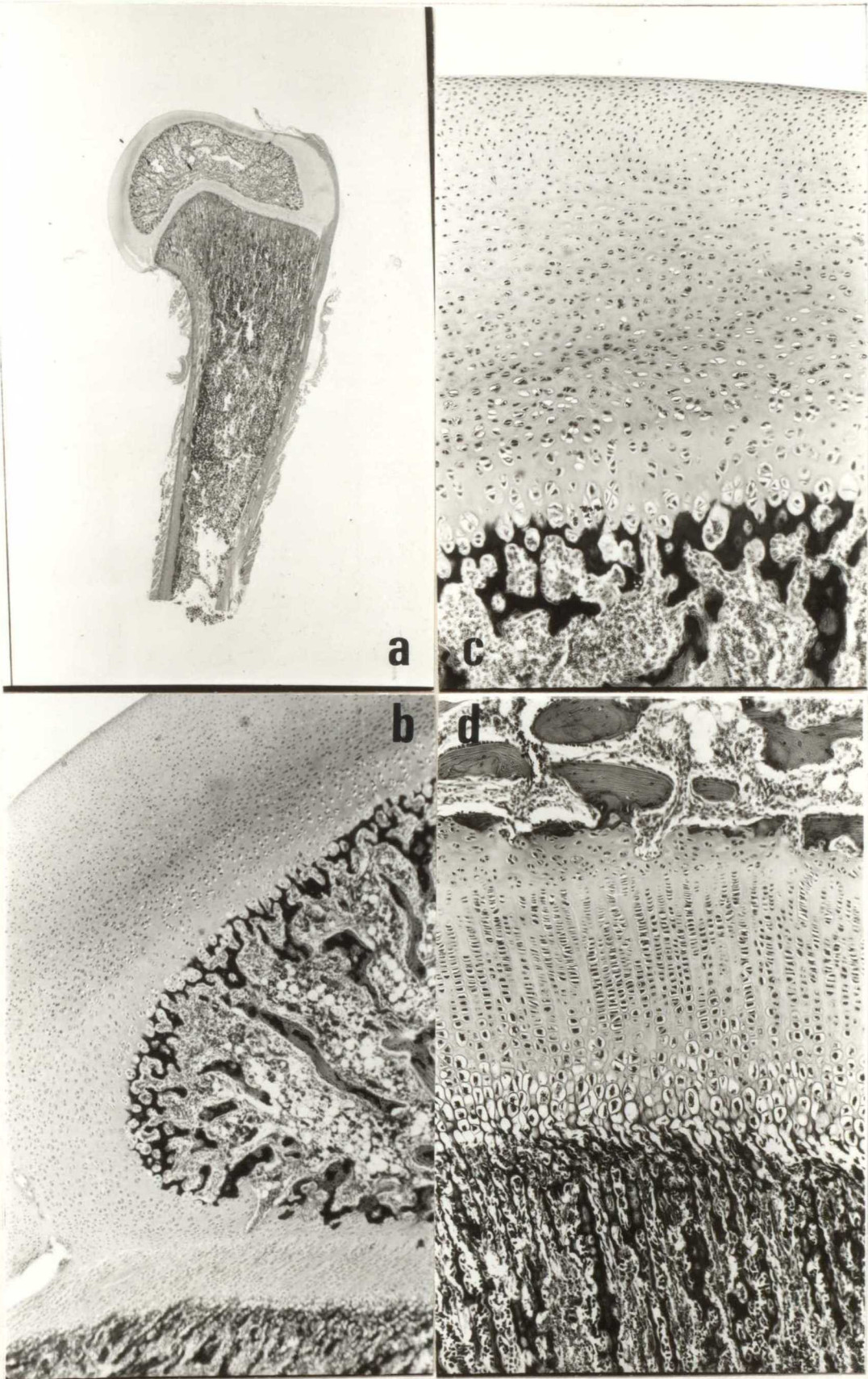


Figure 23 Histological view on growth zone of humerus(40days). (a) Hematoxyline-Eosin stain(H-E), x2.96 (b) H-E, x30.3 (c), (d) H-E, x75.1

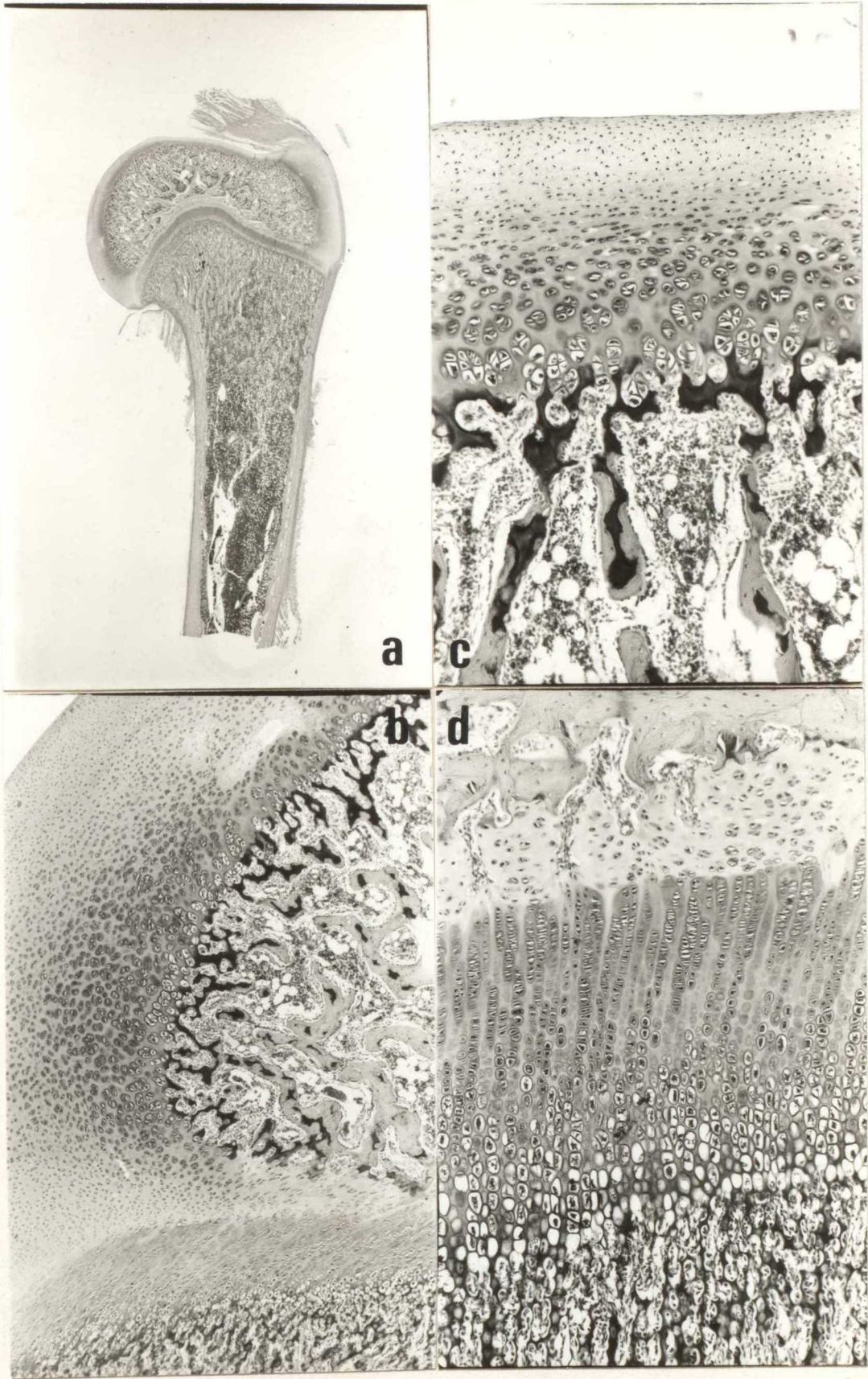


Figure 24 Histological view on growth zone of humerus(60days). (a) Hematoxyline-Eosin stain(H-E), x2.96 (b) H-E, x30.3 (c), (d) H-E, x75.1

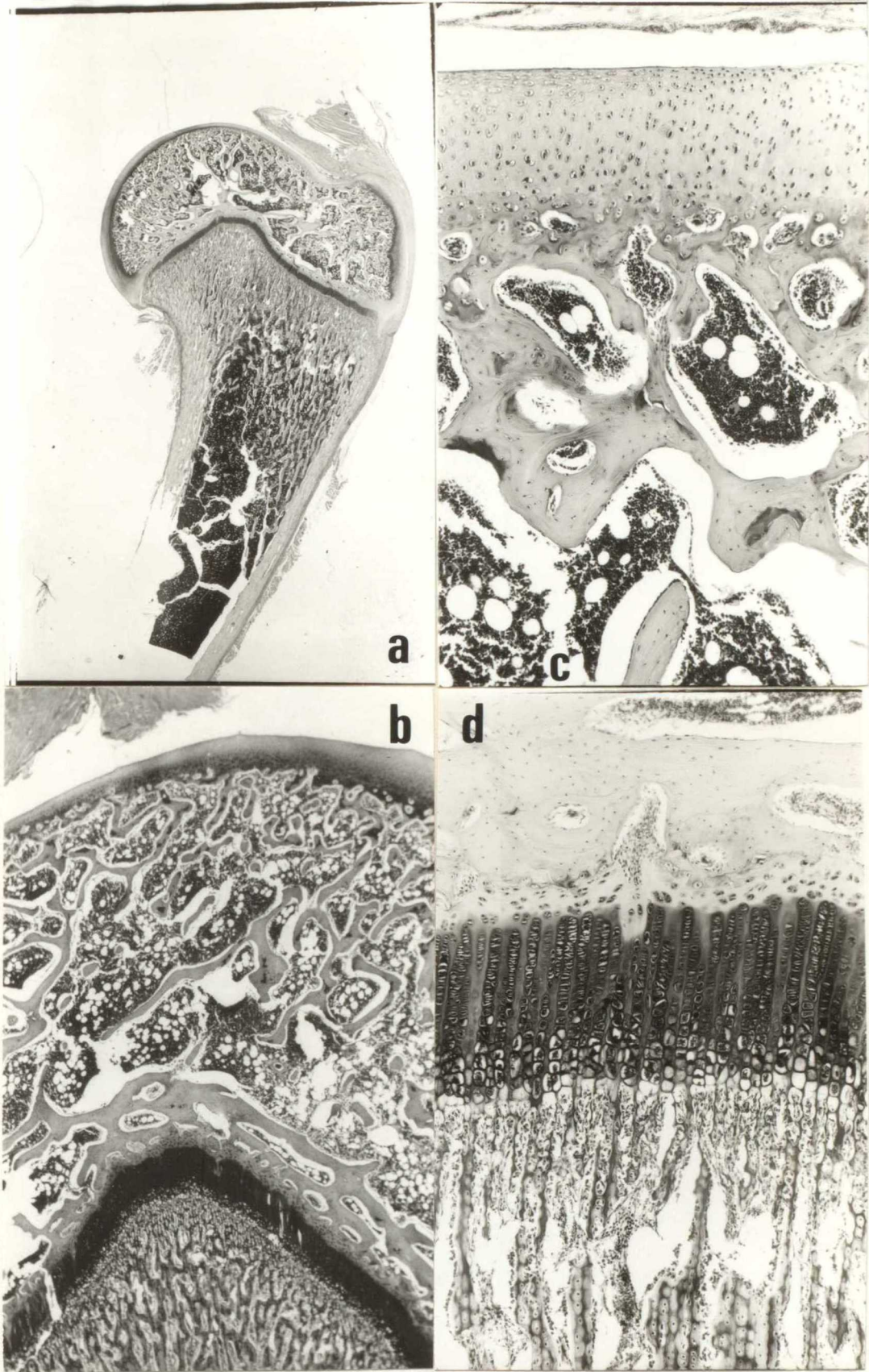


Figure 25 Histological view on growth zone of humerus(3months).(a) Hematoxyliline-Eosin stain(H-E),x2.96 (b) H-E, x30.3 (c),(d) H-E, x75.1

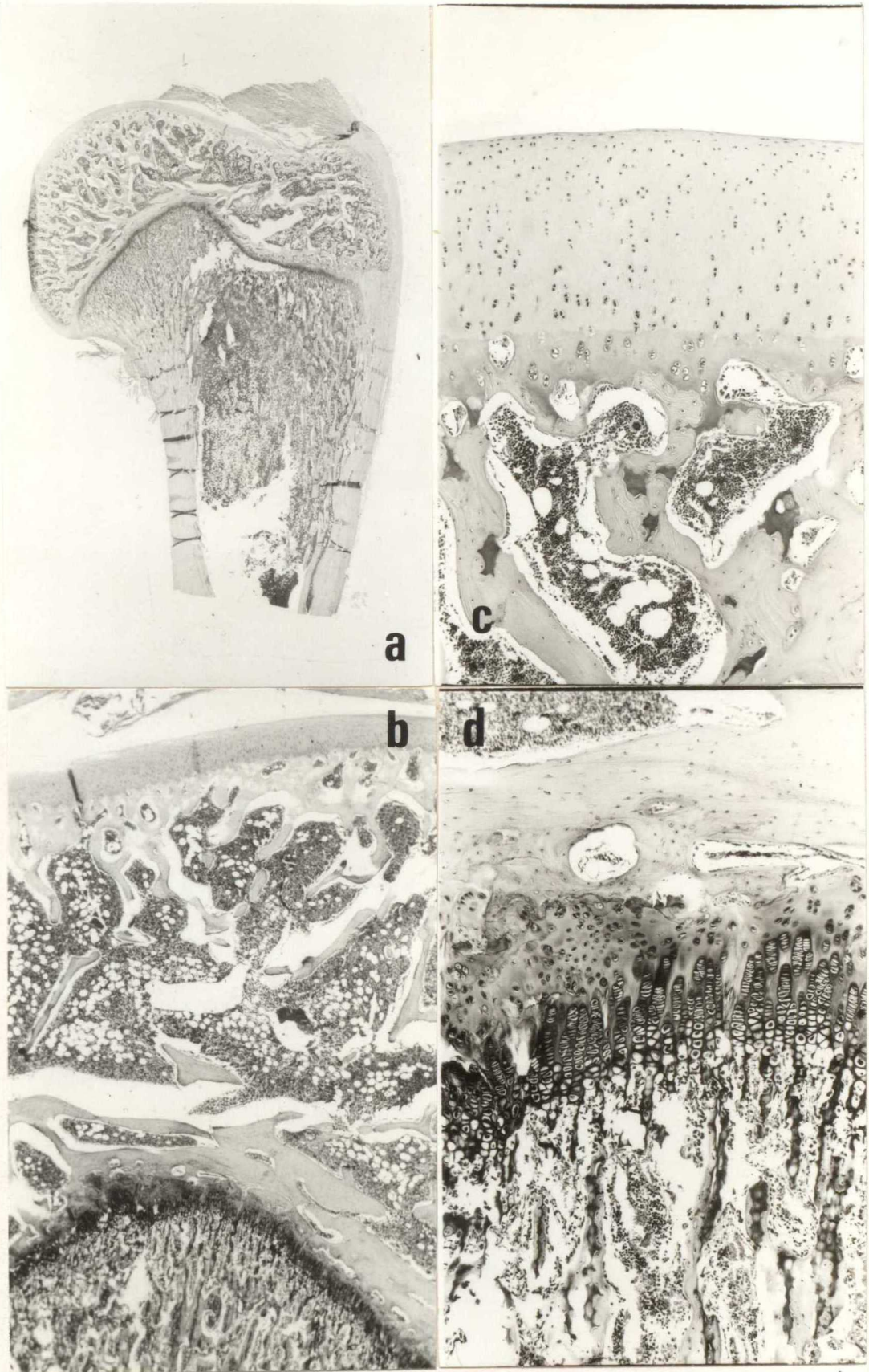


Figure 26 Histological view on growth zone of humerus(7months). (a) Hematoxyline-Eosin stain(H-E),x2.96 (b) H-E, x30.3 (c),(d) H-E,x75.1

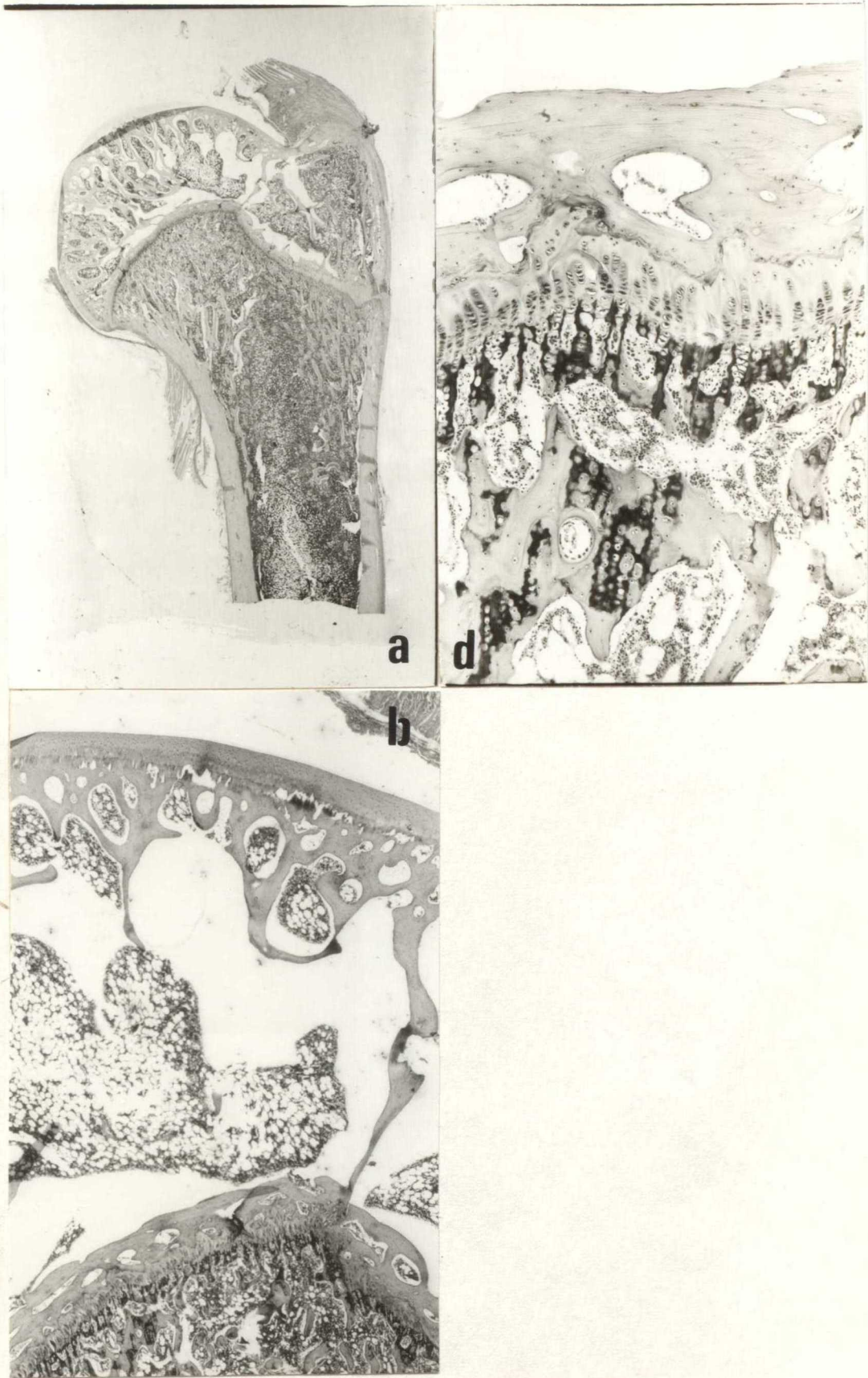


Figure 27 Histological view on growth zone of humerus(12months).(a) Hematoxyline-Eosin stain(H-E),x2.96 (b) H-E, x30.3 (d) H-E,x75.1



a

c



Figure 28 Histological view on growth zone of humerus(24months).(a) Hematoxyline-Eosin stain(H-E), x2.96 (c) H-E, x75.1