

山羊の肋硬骨肋軟骨結合部の年齢的变化について

大 塚 閏 一

A Histological Study on the Development of the Costochondral Junction of the Ribs in Goats

Junichi Ōtsuka

(Laboratory of Veterinary Anatomy)

緒 言

脊椎動物の成長は骨の成長を基礎とするため、造骨機転や骨成長に関する研究は数多くの研究者によってなされている。

哺乳動物の長骨の成長についてみても、白鼠で DOWSON (1925¹⁾, 1927²⁾, 1929³⁾ が組織学的に研究し、MCLEAN and BLOOM (1940)⁴⁾ は石灰化と骨化現象について詳細に報告している。また、LEBLOND et al. (1950)⁵⁾, COMER et al. (1952)⁶⁾, BZIEWIATKOWSKI (1951)⁷⁾ は³²P, ⁴⁵Ca, ³⁵S を用いて、オートラジオグラフによって長骨の成長を報告している。

最近では骨の成長の基盤となる軟骨細胞について、電子顕微鏡による検索や骨の血管分布の研究などが行なわれている。

しかしながら、飼料効率の増進、早期育成など体の成長の急速化を求められる反芻家畜についての長骨の成長や骨造成機転についての研究は意外に少なく、BISGARD and BISGARD (1935)⁸⁾ による山羊の四肢骨の長さの成長に関する放射線学的研究や SMITH (1956)⁹⁾ の羊の四肢骨の骨端軟骨板の消失についての観察をみる程度である。

そして胸廓の発達に関与する肋骨の成長についての反芻家畜の研究はなされていないようである。

筆者は実験的栄養障害発生仔牛の骨成長阻害の程度を組織学的に追求しようとしたが、反芻家畜の正常な肋硬骨肋軟骨結合部の年齢増加に伴う組織像の変化が不明であって、明確な結論を出し得なかった。

そこで健康と思われる摂取熱量および蛋白質に不足のない山羊の肋硬骨肋軟骨結合部の年齢的变化を組織学的に観察し、軟骨増殖層と体成長との間の関係について検索を試みた。

材料および方法

実験に用いた山羊は2日齢より105月齢までのザーネン種およびザーネン系種で、使用頭数は27頭(♂9, ♀2, ♀16)である。

動物は放血後、解剖し、左側第9肋骨の肋硬骨肋軟骨結合部を肋硬骨側約0.5 cm, 肋軟骨側約0.5 cm, 計約1.0 cmを採取し、長軸の中心より縦断し、半分を中性ホルマリン固定後、5%三塩化醋酸で脱灰し、セロイジン包埋後H・E染色およびアザン染色を施した。また、残り半分はアルコール・ホルマリン固定後、5%三塩化醋酸で脱灰し、セロイジン薄切片についてLILLIEのPAS-Allochrome染色を試みた。

H・E染色標本については肋硬骨肋軟骨結合部のほぼ中心と思われる切片の軟骨細胞増殖層の長さと肋硬骨に接する胞状細胞の横径を顕微計測した。

観 察 結 果

山羊の肋硬骨肋軟骨結合部の骨化現象は白鼠，家兎などの実験用小動物の四肢骨の骨端軟骨板の軟骨内骨化と本質的に同様であった。この過程の組織像の変化については MÜLLER (1858)¹⁰⁾ 以後多数の報告があり Sissons (1956)¹¹⁾ によって総括されているのでここでは詳述しない。

本稿では四肢骨の骨端軟骨板に相当すると考えられる肋軟骨の軟骨細胞増殖層 (Proliferating cartilage layer) の幅の年齢増加に伴う変化と，原始髓腔 (Primary spongiosa) の新生骨梁 (New bone matrix) の長さの変化を中心に記述する。なお本稿に用いる部位名称は Fig. 1 のようにする。

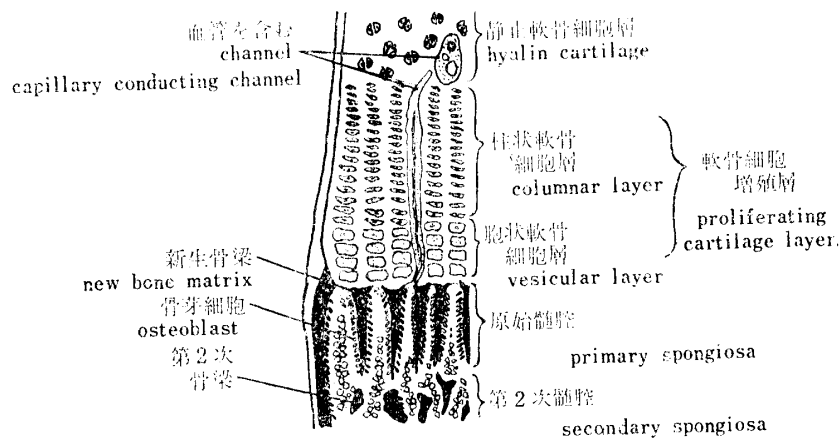


Fig. 1. Diagram of the sagittal section of the costochondral junction.

2日齢：従来，軟骨は脈管を欠く組織と記載されているが，山羊の肋軟骨には多数の channel 内に含まれた血管が肋硬骨の骨髓および軟骨膜より分布されていた。

2日齢の肋軟骨では石灰化，骨化の徴候は全く観察できなかった。軟骨細胞増殖層では軟骨細胞は柱状に整然と配列し，軟骨細胞増殖層の長さは非常に長く，Table 1 に示すように約 1500 μ であった。柱状軟骨細胞層 (columnar layer) の間の軟骨基質は狭く，肋硬骨に接する胞状軟骨細胞 (vesicular cartilage cells) の横径は約 30 μ であった。

Table 1. The length of the proliferating cartilage layer and diameter of the vesicular cartilage cell.

Animal No.	Sex	Age	Length of proliferating cartilage layer	Diameter of vesicular cartilage cell	Animal No.	Sex	Age	Length of proliferating cartilage layer	Diameter of vesicular cartilage cell
1	♂	2 days	1473 μ	31 μ	15	♀	26 months	310 μ	27 μ
2	♂	50	1209	35	16	♀	28	171	18
3	♂	77	1209	35	17	♀	28	186	25
4	♀	9 months	992	35	18	♂	30	202	21
5	♀	9	636	28	19	♀	34	186	19
6	♀	9	496	35	20	♀	34	233	18
7	♀	14.5	295	37	21	♂	38	186	21
8	♂	15	326	21	22	♂	50	248	22
9	♂	15	310	24	23	♂	50	186	14
10	♂	15	357	33	24	♀	60	186	20
11	♂	17	388	33	25	♀	64	202	15
12	♀	17.5	217	21	26	♀	86	217	21
13	♀	17.5	186	21	27	♀	105		
14	♀	26	264	27					

原始髓腔の新生骨梁はまだ、余り長くないが、その周辺には極めて多数の骨芽細胞 (osteoblast) が付着配列していた。

50~77 日齢：肋軟骨における PAS 陽性物質は静止軟骨細胞層の軟骨細胞内に顆粒状に認められた。軟骨細胞増殖層の長さは長く、ここの軟骨基質は極めて狭い。この時期の胞状軟骨細胞の横径は約 35 μ で最も大きかった。

また、この時期の新生骨梁の長さも生涯で最も長く (約 1500 μ)、かつ、直線的で豊富な骨芽細胞がここに付着していた。

約 9 月齢：肋軟骨内の石灰化も骨化もまだ認められず、静止軟骨細胞層の軟骨細胞内には PAS 反応に強く反応する赤色顆粒が認められた。軟骨細胞増殖層の長さは 500~1000 μ とやや減少し、新生骨梁の長さも短くなったが、それはまだ直線的であり、骨芽細胞は多数存在した。

約 14.5 月~約 17.5 月齢：肋軟骨の血管を含む channel の周辺や他の軟骨基質の一部が石灰化され始めた。PAS 反応では、軟骨細胞の顆粒と同様に基質成分が強い陽性を示すようになった。軟骨細胞増殖層の長さは 300~350 μ とさらに短くなり、逆にここの軟骨基質は広くなった。新生骨梁の長さも 100~230 μ と減少し、迂曲する部位も認められ、骨芽細胞の数も 9 月齢のものより少なかった。

約 26 月~約 28 月齢：静止軟骨細胞層内の石灰化は明白に認められ、血管を含む channel の周辺は完全に骨化された。PAS 反応についても軟骨基質成分の方が軟骨細胞内顆粒よりも強く反応するようになった。軟骨細胞増殖層の長さは長い例で 300 μ 、短い例で 170 μ と減少し、軟骨細胞増殖層の細胞間の軟骨基質は肥厚してきた。特にその肥厚は胞状軟骨細胞層の間において著明であった。新生骨梁は直線ではなく、約 60 μ であって、部分的には認められず、局部的に、骨様組織板で肋軟骨を閉鎖しているところもあつた。

約 30 月~約 34 月齢：静止軟骨細胞層の石灰化および骨化は旺盛で、軟骨細胞基質成分の PAS 反応は強陽性となった。軟骨細胞増殖層の長さは約 200 μ で、この層の軟骨基質は肥厚し、PAS 染色に強く反応するようになり、石灰化が生じてきた。新生骨梁は 34 月齢の 1 例を除き、認められず、肋軟骨は骨様組織板で閉鎖された。この時期が四肢骨における骨端軟骨板の消失時期に相当しよう。しかし、骨様の閉鎖板および第 2 次骨梁には数多くの骨芽細胞が存在した。

約 38 月齢：静止軟骨細胞層の骨化は進行して、新生された骨髄も見出されるようになった。軟骨細胞増殖層の長さは短く、胞状軟骨細胞層の軟骨基質は相当に石灰化され、胞状の細胞内には肋硬骨の骨髄が侵入していた。新生骨梁は全く認められず、肋軟骨に近い第 2 次骨梁においても骨芽細胞の数は少なかった。

約 50 月~約 64 月齢：静止軟骨細胞層の骨化はさらに進行したが、軟骨細胞増殖層に近い部位ではまだ軟骨基質が明瞭に存在した。柱状軟骨細胞層の細胞配列は不整となり、その軟骨基質とともに石灰化された部位が拡大した。胞状軟骨細胞層の部位には骨髄からの血管が多くなった。しかし、軟骨細胞増殖層の長さは 186~248 μ で、明瞭に存在した。

約 86 月~約 105 月齢：観察例では静止軟骨細胞層の骨化はそれ程進展してなく、新生骨髄は見出せなかった。軟骨細胞増殖層は明らかに存在し、約 200 μ の長さがあるが、部位によって長さは差異が認められた。骨様組織板で閉鎖された肋軟骨に近い第 2 次髓腔の骨梁には相当数の骨芽細胞が見出された。

年齢増加に伴う肋硬骨肋軟骨結合部の組織学的変化は上述のようであるが、軟骨細胞増殖層の長さを図示したのが、Fig. 2 である。年齢増加に伴って、成長曲線を逆にしたような曲線になり、約 25

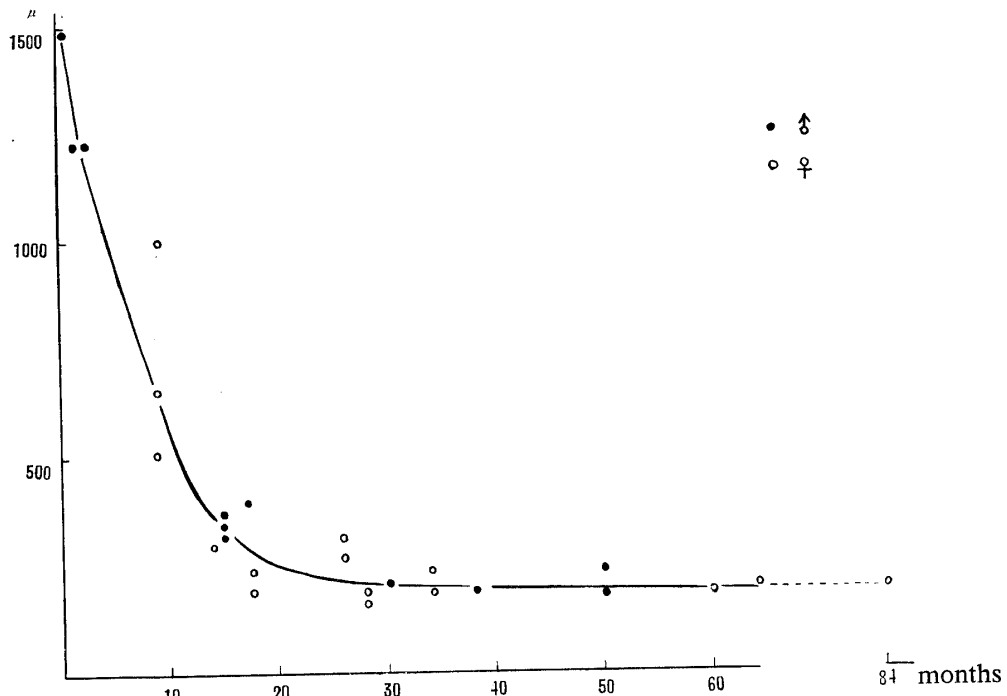


Fig. 2. The length of the proliferating cartilage layer of the 9th costochondral junction in goats.

月齡で平になっている。

考 察

肋骨の肋硬骨肋軟骨結合部は遠位側の肋軟骨が硝子軟骨であり、近位側の肋硬骨が骨組織よりなり四肢の長骨の骨端の骨端軟骨板とは組織学的に異なるものである。しかしながら肋骨のこの部位における ossification の形式は軟骨が骨組織に置換されていく、いわゆる軟骨内骨化と根本的には同一である。

本研究の山羊の肋骨も他の哺乳動物の四肢骨の骨化と時間的ずれは存在するが、従来、多く報告されている白鼠を中心として研究された軟骨内骨化と本質的には変りがない。しかし肋軟骨はあくまでも軟骨であるので軟骨板の消失はなく、それに相当するのは軟骨細胞増殖層の骨様組織板による閉鎖である。

骨化の進行過程についてみると、Fig. 2 に示した軟骨細胞増殖層の長さの年齢的变化は畜産試験場長野支場 (1949)¹² のザーネン及び MAKENZIE (1956)¹³ のトツケンブルグ種の成長曲線を逆にした形をとり、山羊の体成長が完成した時期に、この長さも一定になるので MEDAWAR (1945)¹⁴ の示した specific growth rate ($d\log s/dt$) にほぼ一致する。すなわち肋骨の成長は体の成長とほぼ一致していることを示す。

原始髓腔の新生骨梁の長さが新生仔よりも 2~3 月齡頃が最も長く、以後減少し、約 30 月齡で消失するのは growth rate (ds/dt) と似た曲線となる。これは体成長が最も旺盛な時期に新生骨梁が最も長いことを示すもので、体成長と肋骨の長さの成長が比例することを示すものである。約 30 月齡で新生骨梁が消失する時期は軟骨細胞増殖層が骨様組織で閉鎖される時で、長骨の骨端軟骨板消失の時期にあたる。山羊の四肢骨についてこの種の報告はみないが、羊の脛骨近位端の軟骨板消失の時

期が 25 月齢であるという SMITH⁹⁾ の報告と考え合わせると妥当な数字と考える。なお、骨成長には雌雄による性差が予想されるが、それを検討するためには本研究の例数は少ないのでこの点は一切考慮しなかった。

つぎに、肋軟骨の静止軟骨細胞層の軟骨細胞内の PAS 陽性物質（特に糖原質の同定はしてなく、また三塩化醋酸による脱灰後に PAS 染色を施しているので陽性物質については問題は残る）が軟骨の成長とともに増加し、石灰化や骨化の前に減少し、基質の石灰化とともに消失することは、糖原質について BEVELANDER (1950)¹⁵⁾ や見上 (1953)¹⁶⁾ が論じているのと同じである。

ついで、この観察において見出した、生後 2 日齢より 105 月齢までのすべての肋軟骨に分布する血管についてであるが、従来、硝子軟骨は血管を欠く組織といわれていた。しかし、家兎の長骨の骨端軟骨板にこのような capillary conducting channel が存在することを RING (1955)¹⁷⁾、SPIRA et al. (1963)¹⁸⁾ が最近報告しており、この点については改めて詳細な観察成績、考察を加える予定である。

摘 要

2 日齢より 105 月齢までの山羊 27 頭について、肋硬骨肋軟骨結合部の骨化機転の年齢的变化を組織学的に検索した。

軟骨細胞増殖層の長さの年齢的変動曲線は山羊の specific growth rate (dlogs/dt) とほぼ一致した。また、新生骨梁の長さの年齢的変動曲線は growth rate (ds/dt) と酷似し、肋骨の長さの成長と体成長とほぼ比例することを確認した。

すなわち、軟骨細胞増殖層の長さは、生直後極めて長く、以後急激に減少し、約 25 月齢以後ほぼ一定となり、四肢の長骨のように骨端軟骨板の消失は認められないが、約 30 月齢で骨梁の造成はなくなり、肋軟骨は骨様組織板で閉鎖された。

引 用 文 献

- 1) DOWSON, A. B. : *Anat. Rec.*, **31**, 1 (1925)
- 2) DOWSON, A. B. : *Anat. Rec.*, **34**, 351 (1927)
- 3) DOWSON, A. B. : *Anat. Rec.*, **43**, 109 (1927)
- 4) MCLEAN, F. C. and BLOOM, W. : *Anat. Rec.*, **78**, 333 (1940)
- 5) LEBLOND, C. P., WILKINSON, G. W., BELANGER, L. F. and ROBICHON, J. : *Am. J. Anat.*, **86**, 289 (1950)
- 6) COMER, C. L., LOTZ, W. E. and BOYED, G. A. : *Am. J. Anat.*, **90**, 113 (1952)
- 7) BZIEWIATKOWSKI, D. D. : *J. Exp. Med.*, **99**, 283 (1954)
- 8) BISGARD, J. D. and BISGARD, M. E. : *Arch. Surg.*, **31**, 568 (1935)
- 9) SMITH, R. N. : *Vet. Rec.*, **68**, 257 (1956)
- 10) MÜLLER, H. : *Z. wiss. Zool.*, **9**, 147 (1858), 11) より引用
- 11) SISSONS, H. A. : *The Biochemistry and Physiology of Bone* (Edited by Bourne) **433**, New York (1956)
- 12) 畜産試験場・長野支場：彙報 **47** 号，(1948)
- 13) MAKENZIE, D. : *Goat Husbandry, London*,
- 14) MEDAWAR, P. B. : "Essays on Growth and Form" New York (1945), 11) より引用
- 15) BEVELANDER, G. and JOHNSON, P. L. : *Anat. Rec.*, **108**, 1 (1950)
- 16) 見上：岩手大農学部報告 **I**, 56 (1953)
- 17) RING, P. A. : *J. Anat.*, **89**, 457 (1955)
- 18) SPIRA, F., FARIN, I. and KARPLUS, H. : *J. Anat.*, **97**, 255 (1963)

Summary

There has been a lot of literature on the skeletal development, osteogenesis, and ossification, as nowhere is the relationship between growth and form more evident than in case of the skeleton. But, generally the investigators' observations were confined to long bones with the use of limbs, consequently our knowledge of the rib-growth has been quite scanty. Furthermore, reports on the osteogenesis or skeletal development in ruminants have been few, with the exception of the studies on the length of limbs in goats (BISGARD and BISGARD) and on the fusion of epiphysis of the limb bone in sheep (SMITH).

The present experiment was carried out in order to determine the age order of the development of the costochondral junction of the rib in the normal goats.

In this study 27 *Japanese Saanens* were used as experimental goats, consisting of 16 females, 9 males and 2 castrated males, from 2 days to 105 months old.

The ossification of the costochondral junction was shown histologically, almost on the same process as the enchondral ossification of the epiphyseal cartilage plate of the long bones in other mammals.

In those which are 2 days old after birth, the length of the proliferating cartilage layer corresponding to the length of the epiphyseal cartilage plate in the long bones was exceedingly big, but it showed a sharp descent as the goats grew till they reached 25 months of age (Fig. 2).

This curve was similar to that of the specific growth rate ($d\log s/dt$) of the goat.

The changes of the new bone matrix length in the primary spongiosa on the period of development were ascertained to be in line with the growth rate (ds/dt) of the goat.

Hitherto cartilage has correctly been described as a tissue without vessels, but many capillary conducting channels, found by SPIRA in the epiphyseal cartilage plate of the radius and ulna in rabbits, were observed to have been distributed from the perichondrium and the bone marrow in the vertebral rib to all costal cartilage of the goats.

Explanation of Plates

Fig. 3. Longitudinal section of the costochondral junction of the goat 2 days old. There are numerous columnar cartilage cells. Note vessel conducting channels in the costal cartilage. H-E stain, $\times 28$

Fig. 4. Longitudinal section of the costochondral junction of the goat 50 days old. Allochrom stain (by LILLIE, R. D.), $\times 28$

Fig. 5. Longitudinal section of the costochondral junction of the goat about 9 months old. The proliferating cartilage layer is shorter than that in Fig. 3-4. Allochrom stain, $\times 28$

Fig. 6. Longitudinal section of the costochondral junction of the goat about 17 months old. H-E stain, $\times 28$

Fig. 7. Longitudinal section of the costochondral junction of the goat about 26 months old. Showing ossification in costal cartilage. Azan stain, $\times 28$

Fig. 8. Longitudinal section of the costochondral junction of the goat about 30 months old. Showing disappearance of new bone matrix in the primary spongiosa. H-E stain, $28\times$

Fig. 9. Longitudinal section of the costochondral junction of the goat about 50 months old. Allochrom stain, $\times 28$

Fig. 10. Columnar cartilage layer in the costochondral junction of the goat 50 days old. H-E stain, $\times 70$

Fig. 11. Columnar cartilage layer in the costochondral junction of the goat about 105 months old. H-E stain, $\times 70$



Fig. 3.

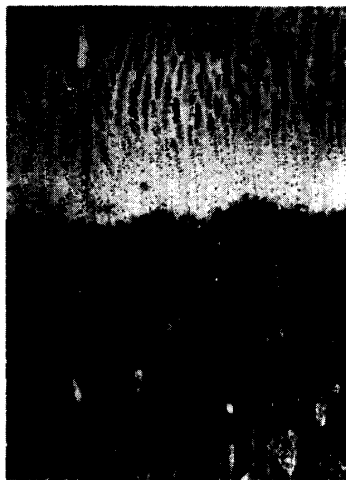


Fig. 4.

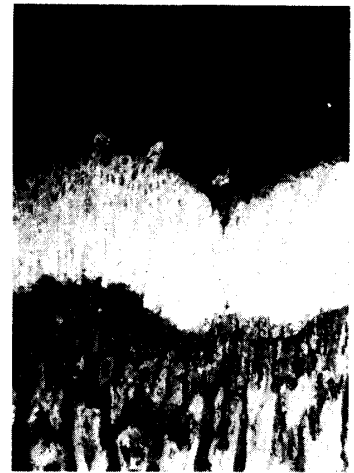


Fig. 5.



Fig. 6.

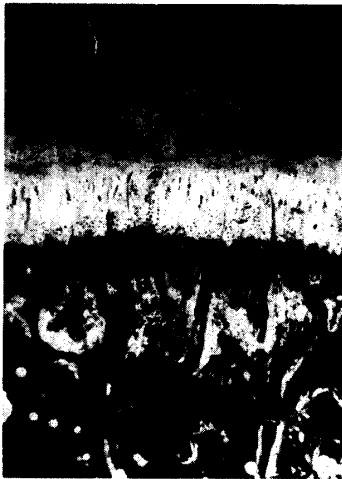


Fig. 7.



Fig. 8.

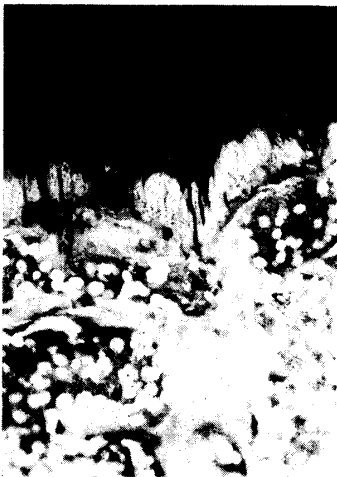


Fig. 9.



Fig. 10.



Fig. 11.