

사람태아 성장기 모낭에서 결합조직-상피 경계부의 미세구조에 관한 연구

김 백 윤 · 박 민 아 · 남 광 일
전남대학교 의과대학 해부학교실, 전남대학교 의과학연구소

Ultrastructural Study on Connective Tissue-Epithelial Junctions in Anagen Hair Follicle of Human Fetus

Baik Yoon Kim, Min Ah Park and Kwang Il Nam
Department of Anatomy, Chonnam University Medical School,
Chonnam Research Institute of Medical Sciences
(Received August 11, 1997)

ABSTRACT

The dermal papilla is known to play a major role in influencing the form and dynamics of the hair follicle, which probably involves regulatory substances crossing the basal lamina. But little is known about the junctions between the dermal papilla and the surrounding epithelial cells of the hair bulb, or between the connective tissue and the epithelial cells on the outside of the hair follicle. This study was performed to identify the ultrastructural differences between dermoepidermal junction of the skin and connective tissue-epithelial junctions on the outside of the hair follicle and around the dermal papilla of normal anagen hair follicles in the human fetal scalp skin.

Electron microscopic findings of dermoepidermal junction in scalp skin showed that basal lamina was very irregular and undulated, and it contained many attachment plaques of hemidesmosomes with sub-basal dense plates, tonofilaments, and anchoring filaments. Also invaginations of plasma membrane of basal keratinocytes were seen. There were clear differences both on the outside of the follicle and around the dermal papilla as compared with similar junction in the skin. In particular, neither hemidesmosomes nor tonofilaments, as seen in dermoepidermal junction, were observed in the dermal papilla. Also attachment plaque, sub-basal dense plate and anchoring filaments were not observed at the junction on the outside of the follicle and the dermal papilla. There were some differences between connective tissue-epithelial junctions on the outside of the hair follicle and around the dermal papilla, ie, smoothness of basal lamina and orthogonal arrangement of collagen fibers were seen in the outside of hair follicle, but not in the dermal papilla.

These results indicate that the mechanical connection between the hair follicle and the

connective tissue component is much weaker than that between the corresponding components in skin, and it reflects the dynamic processes during the anagen phase of the hair follicle compared to the relatively permanent state of the epidermis.

Key words : Human fetus, Hair follicle, Connective tissue-epithelial junction, Ultrastructure

서 론

피부는 외배엽에서 기원한 상피층인 표피와 중배엽에서 기원한 결합조직층인 진피로 구성되어 있으며, 외부 환경과 끊임없이 접하고 있으면서 충격과 마찰로 인해 생기는 손상으로부터 몸을 보호하기도 한다. 표피와 진피가 맞닿아 있는 부분(dermoepidermal junction)은 불규칙하며 진피쪽으로 돌출된 표피부분인 표피능과 표피쪽으로 융기된 진피부분인 유두가 서로 각 지킨 손가락 모양으로 맞물려 있다(Junqueira 등, 1989). 표피와 진피 경계부에 관한 미세구조는 투명판과 치밀판의 기저판과 기저판 하부의 교원섬유로 배열된 망상섬유판으로 구분되는데(Briggaman과 Wheeler, 1975; Eady, 1988), 광학현미경상에서는 이들 세층을 합하여 기저막이라 하며 또는 기저판과 기저막을 혼용해서 사용하기도 한다(Laurie and Leblond, 1985; Ross *et al.*, 1995). 이들 기저판의 구성 성분은 조직의 발육과 성장, 분화와 재생 등의 기능에 관여하는 것으로 잘 알려져 있으며(Bernfield and Banerjee, 1982; Carlsson *et al.*, 1981; Clark *et al.*, 1982), 기저판에서 반부착반의 역할과 피부에서의 부착 기전은 여러 보고(Briggaman, 1982; Stanley *et al.*, 1982)에서 밝혀진 바 있다.

피부의 부속기관의 하나인 모발은 표피가 함입되어 형성된 모낭에서 만들어지며 모낭의 끝은 팽대되어 있고 이를 모구라고 한다. 모구의 기저부에는 모낭유두인 진피유두가 있으며, 이 진피유두에는 모낭에 영양을 공급하는데 필요한 모세혈관망이 함입되어 있다(Junqueira *et al.*, 1989). 표피의 재생과는 달리 모발의 성장은 연속되는 과정이 아니다. 즉, 새로운 모발이 발달되는 성장기(anagen), 발달을 멈추는 단기간의 퇴행기(catagen)와 모낭의 위축을 가져오는 장

기간의 정지기(telogen)를 거쳐 결국 모발은 탈락하게 된다(Ross, 1995). 그러나 모낭에 관한 연구는 대부분 모성장 주기에 따른 결합조직 세포와 모낭 상피세포의 형태학적 변화와 태생기 모생성 과정에 관한 것일 뿐(Parakkal, 1969; Sugiyama *et al.*, 1975), 모낭과 주위 결합조직 사이의 경계에 관한 보고는 드물다. 또한 모낭내 진피유두가 모낭의 형성과 성장과정에서 기저판을 통한 조절물질과 관련되어 중요한 역할을 할 것으로 알려져 있다(Randall *et al.*, 1992).

따라서 본 연구에서는 사람태아 두피의 성장기 모낭에서 모낭과 진피유두 또는 외측 결합조직 사이의 경계에 대한 미세구조를 관찰하고 진피-표피 경계부와 비교함으로써 모낭 성장에 따른 구조적 차이와 역할을 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구에 사용된 재료는 태령 19주에서 30주까지의 한국인 사태아로 인공유산으로 분만후 1시간 이내의 신선한 것을 택하였다. 두정부와 대퇴부 피부를 절취하여 절반으로 희석된 Karnovsky (1965) 고정액에 2시간 전고정한 다음 1% 오스뮴산에 2시간 냉고정하여 탈수과정을 거쳐 Epon 혼합액에 포매하였다. 포매된 조직에서 1 μm 두께의 광학현미경용 표본을 얻어 1% toluidine blue 용액으로 가열염색하여 진피-표피 경계부, 결합조직과 외근초 상피세포 경계부, 그리고 진피유두와 모기질 상피세포 경계부(Fig. 1)를 관찰하였다. 경계부의 형태적 배열이 확인된 표본에서 초박절편기(Sorvall MT 5000)로 80 nm 내외의 연속절편을 얻어 uranyl acetate와 lead citrate로 이중염색 후 JEOL JEM 1200 EX-II 전자현미경으로 80 kV 가속전압하에서 관찰하였다.

결 과

1. 광학현미경 소견

1) Toluidine blue 염색

태령 중기의 모낭은 대부분 성장기 모낭으로 모낭을 둘러싸는 결합조직초(진피근초)는 진피의 층과 비슷하게 구성되어 있어, 최외층은 경계가 명확치 않았고 진피의 유두층에 해당하는 중간층은 두껍고 방추상 세포가 다수 존재하였으며 가느다란 결합조직 섬유는 띠모양으로 배열되어 있었다. 내층은 균질성의 좁은 띠, 즉 유리(질)막으로 되어 있었으며 이 막은 표피의 기저판에 해당하며 세포 성분은 관찰되지 않았다. 한편 모낭내 진피유두에는 진피근초에서 관찰되는 방추상 세포와는 달리 다각형의 큰 세포들로 채워져 있었으며 그 배열은 일정치 않았다. 진피유두와 모기질 상피세포 사이의 경계는 비교적 잘 구분되었으나 결합조직과 외근초 상피세포 경계부와는 달리 유리막에 의한 한계는 뚜렷하지 않았으며, 모기질 상피세포는 그 장경이 경계부에 대해 수직방향으로 배열되어 있었고 진피유두 침부에 인접한 기질세포 사이에는 멜라닌과립이 관찰되었다(Fig. 1).

2. 전자현미경 소견

1) 진피-표피 경계부

표피 기저세포와 진피 결합조직 사이의 경계부에는 투명판과 치밀판으로 구성된 기저판과 기저판 하부의 망상섬유판이 관찰되었으며, 그 주행은 파상형으로 불규칙하였다(Fig. 2).

고배율상에서 기저판에는 다수의 반부착반이 표피 기저세포 형질막에 부착되어 관찰되었고, 반부착반에서 기저세포의 세포질에 이르는 장세사가 여러 방향으로 주행하고 있었다. 기저세포 형질막 하부의 투명판은 약 40 nm 두께로 비교적 뚜렷하게 관찰되었으나, 반부착반과 관련하여 기저하 치밀반과 부착세사가 출현하는 부위는 투명판의 간극이 좁아져 있었으며, 이곳에 인접한 치밀판은 다른 부위의 치밀판에 비해 상대적으로 염색성의 증가가 뚜렷하였다. 부착원섬유는 치밀판에서 진피의 세포의 기질로 주행하고 있었고, 진피내에는 여러 방향으로 주행하는 교원섬유가 세포

들기 사이에서 다수 관찰되었는데 기저판에 가까운 부위에서는 횡방향의 교원섬유가, 심부에는 종방향의 섬유가 많았으나 규칙적인 배열은 관찰되지 않았다(Figs. 3, 4). 한편 표피 기저세포의 기저형질막 일부에서 세포질쪽으로 함입되어 있음이 관찰되었다(Fig. 5).

2) 결합조직-외근초 상피세포 경계부

결합조직과 모낭 외측 상피세포의 경계부는 모낭 내측의 진피유두 침부를 기준으로 하여 상부와 하부로 분류, 관찰하였다(Fig. 1).

결합조직과 외근초 상피세포 사이의 상부 경계부는 비교적 규칙적이고 평탄했으며 3층으로 구분이 용이하였다. 외근초 상피세포의 형질막은 잘 한정되어 있었고 여러 곳에서 세포질쪽으로 주름지어 형성된 형질막의 함입이 관찰되었다. 진피-표피 경계부와는 달리 반부착반과 기저하 치밀반이 드물게 출현하였고, 투명판에는 입자성 물질이 산재하여 조금 어둡게 보였다. 치밀판은 일정한 두께의 매끄러운 띠모양으로 관찰되었고 고배율상에서 미세 과립상이었다. 치밀판에 인접한 결합조직에서 규칙적으로 배열된 교원섬유는 일부가 종방향으로, 대부분은 횡방향으로 주행하여 유리질막을 형성하고 있었으며, 심부에서는 세포들기 사이로 불규칙적인 주행의 교원섬유가 관찰되었다. 또한 치밀판을 따라 입자성 물질이 작은 무리를 지어 불규칙하게 위치하고 있었는데, 외근초 상피세포의 세포질에서 투명판과 치밀판을 지나 종방향으로 절단된 교원섬유층까지 분포하였다(Figs. 6, 7).

진피유두와 비슷한 높이의 결합조직과 외근초 상피세포사이의 경계부는 하부로 갈수록 치밀판이 얇아지고 불분명해졌다. 외근초 상피는 최외층 세포의 높이가 낮아졌고 형질막의 함입은 증가하였으며 복잡한 양상으로 기다란 세포돌기를 형성하기도 하였다. 또한 반부착반과 기저하 치밀반은 어느 곳에서도 관찰되지 않아 상부 경계부와는 차이를 보였으며, 치밀판을 따라 분포한 입자성 물질이 증가함에 따라 투명판의 농도도 짙게 관찰되었다. 교원섬유는 하부로 갈수록 규칙성이 상실되고 명확하지 않았으며, 일부에서는 기저판에 접하여 가는 세사성 물질이 밀집되어 출현하였고 교원섬유에 접하여 관찰되는 경우도 있었다(Figs. 8, 9).

3) 진피유두-모기질 상피세포 경계부

모낭내 진피유두를 둘러싸는 기질세포는 대부분 각질세포와 멜라닌세포로 구성되어 있었는데, 진피유두 침부로 갈수록 멜라닌세포의 세포돌기가 다수 출현하였고 각질세포의 세포질에도 전자밀도가 높은 멜라닌 과립이 다수 함유되어 있었으며 진피유두내 일부 섬유모세포에서도 과립이 출현하였다(Figs. 10, 11).

진피유두와 모기질 상피세포 사이의 경계는 결합조직-외근초 상피세포 경계에 비해 비교적 불규칙하였고 형태가 뚜렷하지 않은 경우도 있었으나 진피-표피 경계에서처럼 과상적인 주행은 관찰되지 않았다. 투명판에 인접한 모기질 상피세포의 형질막에 반부착반과 유사한 형태의 농반이 관찰되었고, 투명판은 과립상 물질들로 채워져 어둡게 보였다. 치밀판의 경우 다른 부위의 경계부에 비해 형태가 뚜렷하지 않았으나 고배율상에서 미세 과립상의 연속으로 관찰되었으며, 일부에서 염색성의 증가와 함께 폭이 증가된 부위도 있었으나 기질세포의 형질막 농반과는 다른 부위였다. 또한 전형적인 반부착반과 기저하 치밀반은 관찰할 수 없었고, 기질세포의 형질막은 합입되어 있지 않았다. 특이한 소견으로 치밀판 직하부에는 부착원섬유로 생각되는 세사성 물질들로 조밀하게 채워져 있었으며, 그 하부에는 교원섬유가 규칙성을 상실하여 세포돌기 사이에 소수 출현하였다. 한편 진피유두 침부의 모기질 상피세포 형질막에는 드물게 세포질로 주름지어 형성된 합입이 관찰되어 하부 기질세포와는 차이를 보였

다(Figs. 12, 13, 14).

이상의 결과를 요약하면 표 1과 같다.

고 찰

표피와 진피 경계부는 투명판과 치밀판의 기저판과 기저판 하부의 망상섬유판으로 구분되고(Briggaman and Wheeler, 1975; Eady, 1988), 이들 기저판의 구성 성분은 조직의 발육과 성장, 분화와 재생 등의 기능에 관여하는 것으로 잘 알려져 있으며(Carlsson *et al.*, 1981; Bernfield and Banerjee, 1982; Clark *et al.*, 1982), 기저판에서 반부착반의 역할과 피부에서의 부착 기전은 여러 보고(Briggaman, 1982; Stanley *et al.*, 1982)에서 밝혀진 바 있다. 그러나 모낭에 관한 연구는 대부분 모성장 주기에 따른 형태학적 변화와 태생기 모생성 과정에 관한 것일 뿐(Parakkal, 1969; Sugiyama *et al.*, 1975), 모낭과 주위 결합조직 사이의 경계에 관한 보고는 드물다. 또한 모낭내 진피유두가 모낭의 형성과 성장에 중요한 역할을 하므로 본 연구에서는 모낭과 진피유두 또는 외측 결합조직 사이의 경계에 대한 미세구조를 관찰하고 진피-표피 경계부와 비교하였다.

모낭과 결합조직 사이의 경계부는 진피-표피 결합과는 달리 느슨하게 연결되어 있었고, 특히 진피유두-모기질 상피세포 경계부와 결합조직-외근초 상피세포 경계부 하방에서는 장세사와 함께 반부착반, 기

Table 1. Differences between the connective and epithelial tissues in hair follicle, and dermo-epidermal junction (DEJ).

Characteristics	DEJ	Hair Follicle			
		Outside Wall		Dermal Papilla	
		upper	lower	lower	upper
Undulation of basal lamina	+	-	-	±	±
Hyaline membrane	-	+	±	-	-
Invagination of plasma membrane	-	+	+	-	±
Tonofilaments	-	±	-	-	-
Attachment plaque	-	±	-	-	-
Hemidesmosome	-	±	-	-	-
Sub-basal dense plate	-	±	-	-	-
Anchoring filaments	±	±	-	-	-
Increased staining of lamina densa	-	±	-	±	-
Anchoring fibrils	-	±	±	±	-

+: existed. -: not existed. ±: existed or not existed

저하 치밀반은 전혀 관찰되지 않아, 이들 구조가 진피-표피 경계부에서 다수 관찰된 것과는 뚜렷한 차이를 보였다. 이는 사람 태아에서 반부착반이 임신 초기 말에 처음 출현한다는 보고(Holbrook, 1979)와 본 실험 재료가 태령 19주에서 30주까지인 점을 미루어 볼 때, 모낭과 결합조직 경계부에서 반부착반 등의 부착 구조물이 관찰되지 않았음은 태령에 따른 분화, 발육과정에 의한 것이 아님을 알 수 있다. 또한 생쥐 성장기 모낭에서 진피유두와의 경계부에 반부착반과 부착원섬유와 같은 특수화된 부착 구조물이 관찰되지 않았다는 보고(Sugiyama et al., 1975)와도 일치하는 소견이었다. 이러한 차이는 모성장 주기에서 상피세포가 동적 유연성을 갖기 위함으로 사료된다. 즉, 성장기 모낭에서 모기질 상피세포는 기질 상부로 이동하고(Montagna and Parakkal, 1974) 외근초 상피세포는 하부로 이동하게 되는데(Reynolds and Jahoda, 1991), 이때 상피-결합조직간 경계부가 견고하게 결합하게 된다면 각기 다른 방향으로의 이동에 매우 제한을 받을 것임은 명료하다.

진피유두-모기질 상피세포 경계부에서 기질상피세포의 형질막에 농반이 출현하였는데, 진피-표피 경계부에서 관찰되었던 반부착반과는 다른 형태로 추측된다. 이는 반부착반에서 세포질로 연결되는 장세사가 농반에서는 관찰되지 않았고, 농반 직하부의 투명판에 반부착반에서 존재하였던 기저하 치밀반이 관찰되지 않았으며, 피부에서의 반부착반 형성과정에 관한 *in vivo* 연구(Krawczyk and Wilgram, 1973)와 *in vitro* 실험(Hirone and Taniguchi, 1980)에서 일차적 단계로 기저하 치밀반이 출현한다고 보고한 것을 미루어 볼 때 반부착반과는 다른 구조일 것으로 생각된다. 따라서 농반은 세포내 부착세사가 talin, vinculin 등을 포함한 actin 미세사이고 기저하 치밀반이 없는 focal contacts일 가능성이 있으나, 이에 관하여는 면역세포화학적 관찰로 추후 구명하여야 할 과제라 사료된다.

본 관찰에서 진피-표피 경계부에서는 반부착반과 인접한 치밀반이 반부착반 사이의 치밀반에 비해 더 두꺼웠으며, 투명판의 경우는 반대로 나타났다. 이는 정상 성인 진피-표피 경계부를 형태계측하여 투명판과 치밀반의 두께는 부위별, 개체별로 유의한 차이가

있음을 보고(Tidman and Eady, 1984)한 것과, 본 관찰에서와 같이 반부착반과 접한 치밀반이 더 두꺼웠음을 보고(Briggaman and Wheeler, 1975)한 것과는 일치하는 소견이다. 결합조직-외근초 상피세포 경계부의 치밀반과 인접한 상피세포에 입자성 물질이 작은 무리를 지어 불규칙하게 위치하고 있었는데, 이는 진피-멜라닌세포 경계부 반부착반 주위에서의 염색성 증가(Briggaman and Wheeler, 1975)와 유사한 형태이며 부착구조물이 형클어져서 분해되는 과정으로 추측된다. 이러한 소견은 진피유두 침부에서도 관찰되었다. 또한 진피유두-모기질 상피세포 경계부의 치밀반 직하부에는 다른 부위 경계부와는 달리 세사성 물질들로 조밀하게 채워져 있었는데, 이는 부착원섬유일 것으로 여겨지나 이 시기에는 임신후기에 비해 소수 분포하고 cross-banding 구조가 뚜렷하지 않다고 한 Keene 등(1986)의 보고와 유사하나 추후 정확한 구명이 필요하리라 생각된다.

한편 결합조직-외근초 상피세포 경계부에서 상피세포의 형질막 합입이 관찰되었는데, 유사한 포음소포들이 표피 기저세포 형질막에서 관찰된 보고(Briggaman and Wheeler, 1975)와 인접한 부위에 소포들이 함께 출현하는 점으로 미루어 물질의 흡수 또는 분비에 관여할 것으로 추측된다. 진피유두 침부 가까이에는 기저판의 단절과 기질세포 형질막의 주름이 다수 관찰되었고, 이는 모낭 외측에서의 형질막 합입과 유사한 구조와 기능을 갖을 것으로 생각되나 소포는 관찰되지 않았다.

결론적으로 결합조직과 상피세포 사이의 결합은 표피와 모낭에서 형태적으로 뚜렷한 차이를 보였으며, 모낭에서의 느슨한 결합은 상대적으로 진피-표피 경계부의 견고하고 지속적인 결합과는 달리 모낭의 성장 주기에 따른 세포의 유동성과 부합되는 소견으로 사료되었다.

결 론

진피-표피 경계부에 관한 미세구조와 모낭 형성과정에서 진피유두의 역할은 잘 알려져 있으나, 진피유두와 모기질 상피세포 경계부 또는 결합조직과 외근초 상피세포 경계부에 관한 연구는 드물다. 이에 본 연구

는 사람태아 두피의 성장기 모낭에서 진피유두-상피 경계부의 미세구조를 관찰하고, 진피-표피 경계부와 비교함으로써 모낭 성장에 따른 구조적 차이와 그 역할을 이해하고자 하였다.

전자현미경 관찰에서 진피-표피 경계부는 불규칙한 주행으로 기저판의 두께는 일정하였다. 다수의 반부착반, 기저하 치밀반, 부착세사와 장세사가 관찰되었으며, 반부착반과 인접한 부위에서 치밀판의 염색성이 증가하였다. 또한 기저판 상부세포 형질막의 함입과 결합조직내 다수의 교원섬유가 관찰되었다. 이외는 달리 결합조직과 외근초 상피세포 경계부는 비교적 규칙적으로 기저판의 두께는 일정치 않았으며, 형질막의 함입, 반부착반과 기저하 치밀반이 드물게 존재하였으나 하부로 갈수록 감소하였고 장세사와 부착세사, 치밀판의 염색성 증가는 관찰되지 않았다. 진피유두와 모기질 상피세포 경계부는 불규칙한 주행으로 기저판의 형태가 뚜렷하지 않은 부위도 존재하였다. 반부착반, 기저하 치밀반, 부착세사, 장세사는 관찰되지 않았으며, 치밀판 직하부에 세사성 물질이 출현하여 다른 경계부와 차이를 보였다.

이상의 관찰로 진피유두를 둘러싸는 모기질 상피세포는 진피-표피 경계부와는 달리 결합조직과 느슨하게 연결되어 있음을 알 수 있었고, 이러한 차이는 성장기 모낭에서 모기질 세포가 상피쪽으로 발달, 진행하는 과정에 유연성을 갖기 위함으로 사료되었다.

참 고 문 헌

- Bernfield M, Banerjee SD, 1982. The turnover of basal lamina glycosaminoglycan correlates with epithelial morphogenesis, *Dev. Biol.* 90, 291-305
- Briggaman RA, Wheeler CE, 1975. The epidermal-dermal junction, *J. Invest. Dermatol.* 65, 71-84
- Briggaman RA, 1982. Epidermal-dermal interactions in adult skin, *J. Invest. Dermatol.* 79, 21S-24S
- Carlsson R, Engvall E, Freeman A, Ruoslahti E, 1981. Laminin and fibronectin in cell adhesion: enhanced adhesion of cells from regenerating liver to laminin, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 78, 2403-2406
- Clark RAF, Lanigan JM, Della Pelle P, Manseau E, Dvorak HF, Colvin RB, 1982. Fibronectin and fibrin provide a provisional matrix for epidermal cell migration during wound reepithelialization, *J. Invest. Dermatol.* 79, 264-269
- Eady RAJ, 1988. Basement membrane-interface between the epithelium and the dermis: structural features, *Arch. Dermatol.* 124, 709-712
- Hirone T, Taniguchi S, 1980. Basal lamina formation by epidermal cells in cell culture, In: *Current problems in dermatology*, eds. Bernstein AI, Seiji M, S Karger AG, N.Y. 10, 159-169
- Holbrook KA, 1979. Human epidermal embryogenesis, *Int. J. Dermatol.* 18, 329-356
- Junqueira LC, Caneiro J, Kelly RO, 1989. Skin, In: *Basic histology*, 6th ed., Appleton & Lange, pp. 477-495
- Karnovsky MJ, 1965. A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolarity for use in electron microscopy, *J. Cell Biol.* 27, 137
- Keene DR, Sakai LY, Lunstrum GP, 1986. Type VII collagen forms an extended network of anchoring fibrils, *J. Cell Biol.* 104, 611-621
- Krawczyk WS, Wilgram GF, 1973. Hemidesmosome and desmosome morphogenesis during epidermal wound healing, *J. Ultrastruct. Res.* 45, 93-101
- Laurie GW, Leblond CP, 1985. Basement membrane nomenclature, *Nature* 313, 272
- Montagna W, Parakkal PF, 1974. The pilary apparatus, In: *The structure and function of skin*, eds. Montagna W, Parakkal PF, Academic Press, London, pp. 172-258
- Parakkal PF, 1969. Ultrastructural changes of basement membrane during the hair growth cycle, *J. Cell Biol.* 40, 561-564
- Randall VA, Thornton MJ, Hamada K, Messenger AG, 1992. Mechanism of androgen action in cultured dermal papilla cells derived from human hair follicles with varying responses to androgens in vivo, *J. Invest. Dermatol.* 98, 86S-

91S

Reynolds AJ, Jahoda CAB, 1991. Inductive properties of hair follicle cells, *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 642, 226-242

Ross MH, Romrell LJ, Kaye GI, 1995. Basement membrane, In: *Histology: a text and atlas*, 3rd ed., Williams & Wilkins, Baltimore, pp. 61-66

Stanley JR, Woodley DT, Katz SI, Martin GR, 1982. Structure and function of basement membrane, *J. Invest. Dermatol.* 79, 69S-72S

Sugiyama S, Takahashi M, Kamimura M, 1975.

The ultrastructure of hair follicles in early and late catagen, with special reference to the alteration of the junctional structure between the dermal papilla and the epithelial components, *J. Ultrastruct. Res.* 54, 358-373

Tidman MJ, Eady RAJ, 1984. Ultrastructural morphometry of normal human dermal-epidermal junction: the influence of age, sex and body region on laminar and non-laminar components, *J. Invest. Dermatol.* 83, 448-453

FIGURE LEGENDS

- Fig. 1.** Photomicrograph shows a part of anagen hair follicle (HF) of scalp hair in human fetus. The dermal papilla (DP) and epithelial cells are separated by a basal lamina (arrow heads). The arrows refer to positions examined in detail in the external connective tissue (CT). Toluidine blue stain.
- Fig. 2.** Electron micrograph of dermo-epidermal junction (DEJ) shows the basal lamina (arrow heads) which is an irregular, undulating lined between basal cell (BC) and connective tissue (CT).
× 8,250
- Fig. 3.** Electron micrograph of DEJ shows hemidesmosomes (h) which are lined the plasma membrane of basal cell (BC), with tonofilaments (t). The extra-cellular space of dermis is filled with longitudinal collagen fibers(c) between the process of connective tissue cells. ×24,750
- Fig. 4.** Electron micrograph of DEJ shows the undulating basal lamina containing a series of well-defined hemidesmosomes (h) joining the epidermis (upper) and to the dermis (lower). Attachment plaques and tonofilaments (t) form the epidermal side of hemidesmosome, with a sub-basal dense plate (s) and anchoring filaments (fl) contained within the lamina lucida (ll). Anchoring fibrils (fb) and collagen fibers (c) can be seen subjacent to the lamina densa (ld) in the extracellular matrix of dermis. arrows: increased staining density of lamina densa. ×49,500
- Fig. 5.** Electron micrograph of DEJ shows the invagination of plasma membrane (arrow) of basal cell (BC). ×49,500
- Fig. 6.** Electron micrograph of the upper part of connective tissue-epithelial junction (CTEJ) shows the smoothness of basal lamina (arrow heads) between outer root sheath cell (OC) and connective tissue (CT). Subjacent to lamina densa are the orthogonal layers of collagen fibers (c), which make up the hyaline membrane. ×8,250
- Fig. 7.** Electron micrograph of upper part of CTEJ shows a few hemidesmosome (h) and tonofilaments reaching back into the cytoplasm of outer sheath cell (OC). Lamina lucida (ll) is a narrow but easily seen clear space between plasma membrane and lamina densa (ld), which has a fine granular appearance. c: collagen fibers. ×49,500
- Fig. 8.** Electron micrograph of lower part of CTEJ shows basal lamina (arrow heads) which is thin, irregular lined between outer root sheath cell (OC) and connective tissue (CT). Invaginations and infoldings of plasma membrane are more abundant and complex than upper part of CTEJ. Collagen fibers (c) are irregularly distributed at lower part. ×6,600
- Fig. 9.** Electron micrograph of lower part of CTEJ shows no hemidesmosome and tonofilaments. Small clouds of particulate matter (arrows) are located at irregular intervals along the plasma membrane, and lamina densa (ld) are very thin and difficult to discern. OC: outer root sheath cell, fb: anchoring fibrils, c: collagen fibers. ×49,500
- Fig. 10.** Electron micrograph of dermal papilla-epithelial junction (DPEJ) shows basal lamina (arrow heads) which is less smooth not undulate than DEJ. Matrix cells (MC) that surrounded the dermal papilla are mainly keratinocytes and melanocytes. The orthogonal arrangement of collagen fibers are never observed within dermal papilla (DP). mp: melanocyte process. ×8,250
- Fig. 11.** Electron micrograph of apex of DPEJ shows basal lamina (arrow heads) which is difficult to discern regionally. The plasma membrane shows several infoldings similar to those on CTEJ.

MC: matrix cell, DP: dermal papilla, mp: melanocyte process. × 8,250

Fig. 12. Electron micrograph of DPEJ shows fine filamentous structure (*) which is subjacent to lamina densa (ld), and no hemidesmosome and tonoflaments. Lamina lucida (ll) has an evenly distributed, fine granular content. MC: matrix cell, DP: dermal papilla, c: collagen fibers. ×49,500

Fig. 13. Electron micrograph of DPEJ shows dense plaques which are lined the plasma membrane of matrix cells, and has no subbasal dense plate and tonofilaments compared to attachment plaque of hemidesmosome. ll: lamina lucida, ld: lamina densa, *: fine filamentous substance. ×82,650

Fig. 14. Electron micrograph of apex of DPEJ shows undefined basal lamina (arrow). Concentrations of fine filamentous material (*), similar to dermal microfibril bundles, are seen in extracellular matrix of dermal papilla. ll: lamina lucida, ld: lamina densa. ×49,500





