

Title	ニワトリ胚線維芽細胞のマイクロピットアレイにおける増殖挙動
Author(s)	谷, 和俊; 菊池, 裕子; 菊池, 佑二; 久保木, 芳徳
Citation	日本ヘモレオロジー学会誌, 5(2), 57-61
Issue Date	2002
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/28014
Туре	article
File Information	Hemorheology5-2-57.pdf



ニワトリ胚線維芽細胞のマイクロピットアレイにおける増殖挙動

谷和俊¹⁾、菊池裕子²⁾、菊池佑二³⁾、久保木芳德¹⁾

1) 北海道大学大学院歯学研究科口腔医学専攻口腔健康学講座

2) 北海道大学大学院歯学研究科口腔医学専攻口腔病態学講座

³⁾ 独立行政法人食品総合研究所マイクロチャネルアレイ工学チーム

【要約】

コラーゲンコートしたマイクロピットアレイを用いて、ニワトリ胚線維芽細胞を培養したところ、これまでの骨髄間質細胞とは反対に、ピット内ではなく、ピットを仕切る壁の上面で増殖がより速くなることが観察された。さらに細胞は壁の長軸方向に配列することが見られた。この配列はコンタクトガイダンスによるものとは異なることが推定された。ピットサイズが200x200 µm、仕切壁幅が80 µmのマイクロピットアレイを用いた時、ピット内の細胞数が最小となり、仕切壁上の細胞数が最大となった。これらの結果から線維芽細胞と骨芽細胞とではそれぞれ足場依存性が異なることが示唆された。

緒言

組織を構成する細胞は、細胞外マトリックス (ECM: Extraceller Matrices)に接着してはじめて 生存が可能である¹⁾。近年の細胞生物学的研究は、 ECM の物理化学的性状および幾何学的形状が細胞 の分化・増殖の制御に重要な役割を果たし、それに よって組織の形態形成とその維持が行われることを 明らかにしてきた^{2)、3)}。また、その制御の機序、す なわち、ECM の情報がどのように核に伝わり遺伝 子発現を制御するのかに関して、現在活発に研究が 進められている。さらに、in vivo においては、細胞 自身が ECM を合成・分泌し足場を確保するという 相互関係が存在する。

組織工学は細胞を培養し組織を人為的に再生する ことを目指している。そこでは、生分解性高分子に より形成された足場の中に細胞を注入し、生体内に 埋め込む方法が活発に試みられている。それによっ て、細胞が分泌した ECM が主役を演ずる一部の支 持組織の再生には目覚ましい成果を挙げてきている。 しかし、細胞が主役を演ずる実質組織の再生には未 だ程遠いのが現実である。ECM と細胞の関係のさ らなる詳細な解明と、それに基づいた足場の構築に よって、種類の異なる細胞の共培養系を確立してい くことが求められていよう。

その中で注目されるのが、Singhvi ら⁴⁾ および Chen ら⁵⁾ によるフォトリソグラフィーを用いた接 着分子のパターニングである。それによって彼らは 細胞の形態と生存を人為的に制御することに成功した。しかし、そこでのパターニングは平面的なもの に限られたため、立体的なパターニング法の開発が 求められてきた。

われわれは、立体的なパターニング法の一つとし て、フォトリソグラフィーとエッチングの手法でシ リコン基板表面に微細加工された空間を ECM 蛋白 質コラーゲンでコーティングする方法を検討した。 最も単純な空間構造としてマイクロピットアレイを 加工し、ラット骨髄間質細胞を培養した結果、細胞 がピットを認識してピット内に入り、その中で増殖 率を高めることを見出した^{6、7)}。さらに、稠密型マ イクロピットアレイと蛍光染色観察を導入して、そ のマイクロピット効果をより明瞭に確認した^{8、9)}。

本研究はマイクロピットアレイを加工した基板上 でニワトリ胚繊維芽細胞(CEFs: Chicken Embryo Fibroblasts)を培養し、その挙動が骨髄間質細胞と 同様かどうかを検討した。

方法

【マイクロピットアレイ】今回使用したマイクロピットアレイは、我々が最初に製作したピット内の総 面積とピット外の総面積が等しいタイプのものと、 前回使用した稠密型のものである。ピットは一辺の 長さが 25,50,100,200,400 µm の正方形で、そ の深さは 10 µm である。シリコン単結晶基板表面を ドライエッチングで 8 µm、続いてウエットエッチン

^{1) 〒060-0813} 札幌市北区北 13 条西 7 丁目

^{2) 〒060-0813} 札幌市北区北 13 条西 7 丁目

^{3) 〒305-8642} 茨城県つくば市観音台 1-2-12

グで残り2 μ mをエッチングすることにより作製した。

各チップ (12 x 12 mm 角) 内では同一サイズのピ ットとした。ピット間の幅、すなわち、フェンス幅 を 10、20 µm としたものが稠密型であり、ピットの 一辺の 0.4 倍をフェンス幅にしたものがピット内の 総面積とピット外の総面積が等しくなるタイプであ る。前者を、例えばピットの一辺の長さが 100 µm でフェンス幅が 10 µm のものを T100-10 と表し、 後者を E100 と表した。また、対照として表面を何 も加工していない同じ大きさのシリコン単結晶基板 (Plain)を用意した。なお、E シリーズはピットサ イズ 600 x 600 µm のものも作製したので今回も使 用した。

【ECM コラーゲンコーティング】マイクロピット アレイ基板及び平板 (Plain)を、オートクレーブ可 能なカップに入れて滅菌し、その容器内で無菌的操 作により 0.1%コラーゲン (Cellmatrix IA type、新 田ゼラチン)を含む氷冷 0.1 M 酢酸溶液に 30 分間 漬けてコラーゲンコーティングした。

【細胞の調製】ニワトリ受精卵9日目の胚から切り 出した心臓をメスで細切し、PBS で余分な赤血球な どを取り除いた後、細胞片を 0.1%トリプシン-PBS で処理し、その細胞浮遊液を遠心分離 (1,000 rpm、 5分間、4℃)して得られた沈殿物に培養液を加え、 細胞破片の除去、単細胞の分離のため 150 ステンレ スメッシュによりろ過した。ろ過したものを 10% FBS 添加 Minimum Essential Medium Alpha Medium (GIBCO BRL)により 5 x 10⁵ 個/mlにな るように希釈後、10 ml を 90 mm 口径培養ディッシ ュに入れて、CO₂インキュベーター (5%CO₂、37℃) 中で培養した。この細胞(CEF)の継代 3 代目(P₃)をト リプシン—EDTA (Sigma 1X solution : 2分)処理 により剥がし培養液中に 5 x 10⁵ cells/ml の濃度で 浮遊させた。

【シリコンチップ上での細胞培養】チップを載せる スペーサーディスクをオートクレーブで滅菌後 35 mm 口径の培養用ディシュ内にあらかじめセットし た。このスペーサーディスクはチップ上の細胞を作 動距離の短い対物レンズを用いてもそのまま顕微鏡 観察できるようにするためのものである。

コラーゲンコーティングしたチップ4枚(マイク ロピットアレイ3枚及び平板1枚)をpH7.0のPBS 及び培養液でリンス後35 mm 口径の培養用ディッ シュ内のスペーサーディスク上に置いた。細胞懸濁 液 (5 x 10⁵ cells/ml) 2 ml を各ディシュ内に加え、 $CO_2 インキュベーター (5\% CO_2, 37 C)$ で2日間培 養し、 P_4 細胞とした。

【アクリジンオレンジ染色】培養2日目に培養ディ シュ内の培養液に最終濃度 $1.8 \mu M$ (0.53 ppm) と なるようにアクリジンオレンジ (Research Organics Inc. Ohio) 溶液 100 μ l を加えることによ り細胞を蛍光染色し、チップ内の細胞の分布を金属 蛍光顕微鏡を用いて観察した。

【蛍光観察】蛍光顕微鏡 (Nikon, OPTIPHOT) を 用いてB励起でチップ上のランダムに選んだ5ヶ所 を観察した。それぞれカラーCCD カメラ (Hitachi KP-C550) で撮影した画像をビデオプリンター (Mitsubishi Color Video Copy Processor CP710A) で印刷し細胞数を計数した。以上の実験 方法の概要を図1に示した。



図1.実験の概要

結果

それぞれのピットサイズのアレイ上で培養した P₄ の CEFs 細胞を明視野観察及び蛍光観察した画像を 図 2 から図 5 に示した。

前回行ったラット骨髄間質細胞では細胞はピット

内に集まり増殖したが (マイクロピット効果)、今回 用いた CEFs ではピット内よりもピット間を仕切る 仕切壁上でより良く増殖した。しかも、仕切壁上で の細胞は長軸方向に沿って配列していることが観察 された。

しかし、その様子は仕切壁幅が 10 µm では確認で きず(図2)、幅が 20 µm で少し兆しが見え始める 程度であった(図3)。コントロールの平滑なチップ との比較では、細胞総数は少なく、低い増殖率とな った。E シリーズで仕切壁幅が 40 µm 以上になると 上記の傾向は顕著になった。特に一辺のピットサイ



図 2. 仕切壁幅 10 µm のマイクロピットアレイ上で の培養細胞 (P4)

 T50-20
 Image: Comparison of the second o

図3. 仕切壁幅 20 μm のマイクロピットアレイ上の 培養細胞 (P4) ズが 200 μ m のときに仕切壁上で細胞の増殖が最も 速くなることがみられた(図5)。また、Eシリーズ ではピット内の細胞数が少ないにもかかわらずチッ プ上での細胞数は表面を何も加工していないコント ロールの平板(Plain)と比較しても多くなった(図 5)。しかし、Eシリーズでも1辺のピットサイズが 600 μ m になると細胞総数や配列方向そしてピット 内外に Plain との差は見られなくなった(図5)。



図4. 仕切壁幅がピット幅の 0.4 倍のマイクロピッ トアレイ上での培養細胞 (P4)



図5. 仕切壁幅がピット幅の 0.4 倍のマイクロピッ トアレイ上での培養細胞 (P4)

ここでの結果により、CEFs はピット内より仕切 壁上面でより高い増殖率を示すこと、さらにその増 殖率が仕切壁上面の幅により異なることが示された。 前報の骨芽細胞様細胞の場合は、ピット内でより高 い増殖率を認め、またその増殖率はピットサイズに より変化した。マイクロピットアレイ上でこのよう な細胞の特徴的な増殖をもたらしたのは、骨芽細胞 様細胞は破骨細胞の造った孔に入り骨化を行うこと や、線維芽細胞は固有の結合組織で一般に膠原線維 束に沿って見られるという双方の特色を反映してい ると思われる。なお、線維芽細胞も同様にピット内 で増殖が速く、ピット内が早く一杯になって細胞が 死んで、その結果、仕切壁上で細胞が多く見えた可 能性は残る。しかし、図2から図5に示した画像に はその可能性を示唆するものはない。いずれにして も細胞が分裂しやすい、あるいは分裂を促進させる スペースが存在することが今回の実験により明らか になった。CEFs の場合、最も増殖率が高くなった のは E200 の仕切壁上である。またフェンス幅が 10、 20 µm の場合には増殖率が低下することから、CEFs の場合、分裂・増殖するのにはある程度のスペース が必要であることも示唆された。以上のことより ECM の幾何学的形状が細胞の増殖・分化を促進さ せると同時に障壁となって抑制するという二面的な 制御であることが推測された。今後、ECM の幾何 学的形状を検討していく場合、促進と抑制の両面か ら追求していくことが必要であろう。

最適な細胞支持体の設計は、今後、大量培養や代 用組織・人工臓器の設計上、欠かすことのできない 条件になると思われる。微細加工されたシリコン基 板表面を用いる我々の方法はこれからもその有用性 を示していくことが期待される。

文献

1) Stoker, M., O'Neill, C., Berryman, S. and

Waxman, V. : Anchorage and growth regulation in normal and virus-transformed cells. Int. J. Cancer: 3: 683-693, 1968.

2) Folkman, J. and Moscona, A.: Role of cell shape in growth control. Nature(Lond.) 273: 345-349, 1978.

3) Gospodarowicz, D., Greenburg, G. and Bridwell, C. R.: Determination of cellular shape by the extracellular matrix and its correlation with the control of cellular growth. Cancer Res.38: 4155-4171, 1978.

4) Singhvi, R., Kumar, A., Lopez, G. P., Stephanopoulos, G. N., Wang, D. I. C., Whitesides. G. M., Ingber, D. E.: Engineering of cell shape and function. Science **264**: 696-698, 1994.

5.) Chen, C. S., Mrksich, M., Huang, S., Whitesides, G. M., Ingber, D. E.: Geometric control of cell life and death. Science 276: 1425-1428, 1997.

6) 菊池裕子、菊池佑二、久保木芳徳:シリコンチ ップ上での細胞培養の試みーマイクロチャンネルと マイクロピットにおける繊維芽細胞および骨芽細胞 の挙動— ヘモレオロジー研究会誌 2:97-108,1999.
7) Kikuchi, E. H., Kikuchi, Y. and Kuboki, Y.: Stretching and movement of fibroblasts and osteoblasts cultured in microchannel and micropit arrays. Proc. SPIE 3606:150-157,1999.
8) 菊池裕子、菊池佑二、久保木芳徳:骨芽細胞様 細胞の増殖に対する「マイクロピット効果」—稠密 型マイクロピットアレイを用いた検討と蛍光観察に よる視覚化— ヘモレオロジー研究会誌 3:121-132, 2000.

9) Kikuchi, E. H., Kikuchi, Y. and Kuboki, Y.: Culture of bone-marrow-derived cells in microfabricated pit arrays. Proc. SPIE **4265**: 40-49, 2001.

Growth of Chicken Embryo Fibroblasts in Micropit Arrays

Kazutoshi Tani¹⁾, Hiroko E. Kikuchi²⁾, Yuji Kikuchi³⁾, Yoshinori Kuboki¹⁾

1) Department of Oral Health Science, Graduate School of Dental Medicine, Hokkaido University, Sapporo, 060-0813, Japan

2) Department of Oral Pathobiological Science, Graduate School of Dental Medicine, Hokkaido University, Sapporo, 060-0813, Japan

3) Microchannel Array Technology Team, National Food Research Institute,

Tsukuba, 305-8642, Japan

[Abstract]

Chicken embryo fibroblasts (CEFs) were obtained from the heart of a fertilized chicken egg incubated for 9 days by slicing and trypsin treatment and further culturing cells in α -MEM supplemented with 10% FBS. CEFs on the third passage culture were seeded on collagen coated micropit arrays (silicon chips) in the culture medium at a concentration of 50 cells per 1 mm². They were incubated for 2 days and subjected to observation under fluorescence microscopy with Acridine Orange staining. In contrast to bone marrow-derived cells so far studied, a higher growth rate was observed for cells on the top surface of the fence separating the pits than cells in the pits. Furthermore, cells aligned along the longitudinal direction of the fence; it appeared to be different from so-called contact guidance of cell alignment. Growth and alignment of CEFs was particularly marked when the top of the fence had a width of 80 μ m with least numbers of cells in the pits (pit size 200 x 200 μ m). These results suggested that fibroblasts might have a different scaffold dependence compared with osteoblasts.