

円形断面を有するポリマーマイクロ流路作製

Fabrication for polymer microchannels with circular cross-sections

○ 相賀 建人、石樽 崇明 (慶大理工)

○ Kento Ohga, Takaaki Ishigure (Keio Univ.)

E-mail: minatomirai2012@keio.jp

1. 緒言

世界三大死因のうちの1つ、心血管疾患は血管の異常により血液が正常に流れなくなることで発生する。そのため、この治療法を解明するにあたり、血管の特性と血流の挙動の関係を明確にする必要がある。

血流を分析する際にマイクロ流路を擬似血管ネットワークとして利用するケースが多い。マイクロ流路はソフトリソグラフィ法を用いて作製され、矩形の流路断面となる例が多く報告されている。しかし、矩形断面マイクロ流路は、流体からのせん断応力が一様にかかるからなくなる、また、血液中の細胞への栄養分や酸素の分布が不均一になること等の問題があるとの報告例がある。擬似血管ネットワークとしての機能を十分に示すには、血管を模した円形断面流路が望まれる^[1]。そこで本研究では円形断面を有するポリマー製マイクロ流路の作製を検討する。さらに、血管はY字の分岐構造を多数有するため、本研究ではY字マイクロ流路の作製についても検討する。

2. 実験方法

流路作製には、当研究室にて考案した Mosquito 法を利用する。Mosquito 法はポリマー光導波路を作製するための作製法であり、コアモノマーを、ディスペンサに繋がれたシリンジを用いて、クラッドモノマー中に吐出することで、「円形コア」を形成、両モノマーを紫外線硬化して導波路を形成する。ここで、従来のマイクロ流路材料には、生体適合性や柔軟性などの観点からPDMS(polydimethylsiloxane)が広く用いられてきたが^[2]、一般にPDMSは、熱硬化により得られるポリマーである。このため、Mosquito法に熱硬化性樹脂を適用する新たな試みが必要となる。Mosquito法の概略をFigure 1に示す。まず、Figure 1のように、基板の上にPDMSモノマーを塗布する。次に、粘度を調整した流路用(コア)粘性液体をシリンジ先端から、塗布されたPDMSモノマー内部に定量吐出させ、同時にニードルを水平走査する。その後、温浴中でPDMSのみ熱硬化させ、得られたサンプル両端を切除することで、流路断面を露出させる。未硬化コア液体を空気流にて除去し、空洞を得る。PDMSには、東レ・ダウコーニング(株)製SILPOT184、コア用粘性液体は、東京応化工業(株)製シルセスキオキサンモノマー、高粘度コアサンプル(開始剤を含まない)を利用した。異なる硬化温度(50°C, 70°C, 90°C)にして作製した流路の流路側面を観察した。

次に、異なるサイズのコア(流路)を形成するために、流路径 D の計算を試みた。

D は流体力学のモデルにより、

$$D = (a^4 p / 32 L \eta U)^{1/2} \quad (1)$$

で表される。ここで U は走査速度、 p は吐出圧力、 L はニードル長、 a はニードル径、 η はコアモノマー粘度である、 $L=14$ mm、 $\eta=11,000$ cpsの条件化で、流路径を $54 \mu\text{m} \sim 95 \mu\text{m}$ とするためのモノマー吐出条件を決定し、得られた条件をもとに実際に流路を作製した。最後に、本法を応用し、Y字マイクロ流路を試作した。



Figure 1 Outline of Mosquito method







3. 結果

熱硬化性のPDMSにMosquito法を用いた場合、重合温度50°Cの温和な条件で硬化することで歪み、断線のない直線状の流路が形成できることがわかった。

続いて、理論計算によって得られた条件で流路を作製したところ、Table 1に示すように $D=54 \mu\text{m} \sim 95 \mu\text{m}$ の広いレンジで、円形断面流路の作製に成功し、計算結果と傾向の一致を確認した。また、いずれの流路も0.98以上の極めて高い真円度を有していることがわかった。さらに、空気圧により、未硬化コア液体が除去可能であることが分かった。

Y字マイクロ流路の作製結果をFigure 2に示す。Figure 2に示すように、ニードルの走査プログラムを適切に設定することで、真円断面形状を有するY字マイクロ流路の作製が可能となった。

Table 1 Side view, cross section and circularity

Diameter	95 μm	82 μm	54 μm
Side View	 200 μm	 200 μm	 200 μm
Cross Section	 200 μm	 200 μm	 200 μm
Circularity	0.985	0.992	0.987

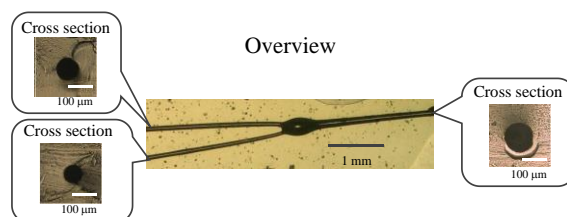


Figure 2 Fabricated microchannel with Y shaped side-view

4. 結論及び今後の展望

Mosquito法に熱硬化性樹脂が利用可能であることを示し、円形断面を有するマイクロ流路作製に成功した。幅広い流路径($D=54 \mu\text{m} \sim 95 \mu\text{m}$)を有し、0.98以上の高い真円度の円形断面マイクロ流路が得られた。今後、血管内の血流観測に利用されることが期待される。

参考文献

- [1] J. T. Borenstein et al., Biomed Microdevices, 12, 71(2010).
[2] R. Lima et al., Biofabrication, 1, 1(2009).