

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

佳作

030314

以卵黃細胞模擬紅血球在血管中之流動表現與
潛在應用價值

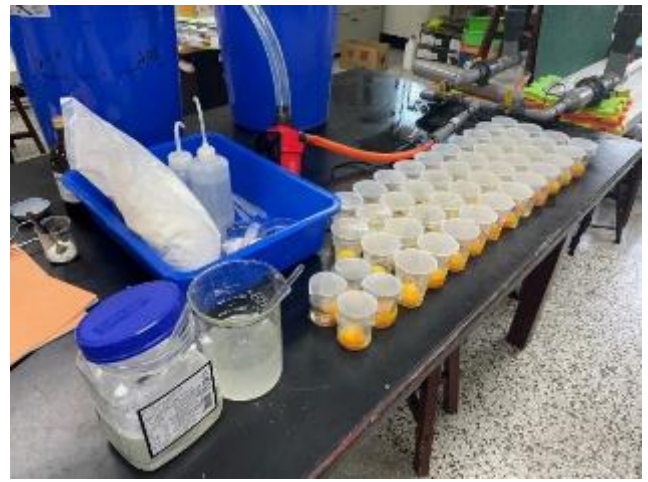
學校名稱：高雄市立五福國民中學

作者： 國二 黃品禎 國二 蔡鎔宇	指導老師： 何姿穎 余尚芸
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：細胞運動、數學建模、形變

摘要

本研究藉由觀測雞卵黃細胞在 7 種生理情況中之運動情形，藉由蒐集相關參數，如細胞形狀、運動速率及其對應側截面積，建模出無需侵入性取血樣，即可評估細胞處於何種生理狀態之模型。111 年 10 月起為求模擬紅血球之較佳研究對象，先建立基本資料，透過各種嘗試，探尋出雞卵黃細胞在經過何種處理後，最適合模擬紅血球運輸型態；接續進行細胞形變與運動速率、截面積、不同生理情形下對應的血液濃稠度.....各變項實驗。研究結果顯示，細胞在運輸過程中可藉由轉換形變策略來調節其運動速率。本研究證實影響細胞形變的因素包含血液所造成的流體阻力、細胞質的流動性，特別是當細胞處於酒精濃度 $\geq 0.5\%$ 的環境時，此時細胞質會限制其形變，導致運動速率無法被調節。



壹、前言

記得一年級南一版生物 4-2「人體內的心血管系統」，有提到紅血球在動脈、靜脈、微血管中的流動速率，以及紅血球在失去細胞核之後體積變小、攜氧量提升。據此，我們推論，紅血球失去細胞核的主要目的為增加比表面積，來提升單位時間的攜氧量。因此，紅血球不一定只仰賴失去細胞核後的體積變小來平衡攜氧量，亦可能透過其他方法調節。故本實驗中，我們討論細胞在運動過程中運動速率以及紅血球的形變策略，並猜想細胞會為了達到單位時間內與周圍細胞交換氧氣量約略相同的目的，而在各種不同的情況下平衡速率與比表面積。因此我們希望能找出細胞在運輸過程中，速率與形變間的關聯性，並以實驗結果證明之。

為使模擬更具真實性，我們希望能找到最適合模擬紅血球，且體積較大，便於觀測的物體。細胞內有大小不同的胞器，在細胞遷移的同時亦在細胞質內運動，且胞器的大小及類型會導致其進行運動的方式有所不同，因此細胞流動非一般「水球」即可代替的，所以我們首先將範圍縮小至動物細胞。又在查閱文獻之後，得知曾有科學家將人體血球細胞轉為卵細胞的成功案例（Daniel Oberhaus, 2018），因此我們判斷卵細胞與紅血球細胞應具有一定的相似性。其中鳥類的卵細胞又為體積最大的動物細胞，利於本實驗的觀察與分析。所以最終決定以雞卵黃細胞模擬紅血球。

本實驗有別於過往。過去關於研究紅血球型態變化的文獻大多著重於紅血球在失去細胞核前後的外觀差異（大小、形狀等靜態數據差異），然而實際上細胞在運動過程中會將運動狀態改變轉而呈現於形變中。

在我們比對紅血球與卵黃細胞的相似性時，我們發現紅血球細胞會在流速或其他變因下調整形狀。再更進一步的觀察，我們發現細胞在面對不同流速時，會調節形變狀態以達到單位時間內與周圍細胞交換氧氣量約略相同的目的。於是我們又進一步思考細胞形變的原因。

由於力對物體的影響分為形變與運動速率兩種因卵黃細胞膜具有流動性，因此具有產生形變的必要條件。並在遵守能量守恆定律的條件下，細胞會在運動速率改變時產生相對應形變程度的變化。此特性促使其在受力時可同時產生速率與形狀的改變，滿足我們期待模擬的細胞條件，也讓本實驗具有極大可行性。

因為實驗限制，我們無法在生物體中透過改變血液黏度或酒精濃度等因素以調節其生理狀態，進而觀測在各種不同生理情況下的血液環境中，血球的變化。且紅血球體積極小，不利於本實驗觀察與分析其形狀變化程度，因此我們想進一步透過放大版的血液流動模型，搭

配雞卵黃細胞進行模擬觀測，亦方便之後的分析。

我們實驗的主要目的是藉由將卵黃放置於透明直管內模擬紅血球在微血管以及小動脈中的細胞運動過程，並以 0.74%生理食鹽水增稠至 4cp 來模擬正常的血液，再分別加入酒精、CMC 增稠劑、環狀堵塞，來模擬不同各種生理情況對應的血液。最後，搭配多種軟體分析並收集其運動過程中相關的建模參數。例如利用 Tracker 收集運動速率、IC Measure 分析對應之截面積、Teachable Machine 判斷形變。我們藉由收集以上參數，進而找出速率與形變間的關係、細胞運動速率對其截面積的影響。期盼能找出紅血球在小動脈、微血管中的形變與速率之關係，並建構出紅血球運輸之模型方程式。

所謂數學建模 (Mathematical Modeling) 是把現實世界中的實際問題進行轉換，寫成數學模型，求出模型的解 (林國源，2004)。Sam Wood 於 2021 曾發表將各種鳥類卵黃細胞的形狀、體積、幾何形狀等做出對應的函數關係，因此我們覺得或許可以參考其量化各種數據之方式，將面對不同各種生理情況對應的血液之雞卵黃細胞之形變數值量化。於是同樣蒐集卵黃的形狀與體積，另外再加上速率並將形狀量化為截面積，最後利用上述提到之參數予以建模。

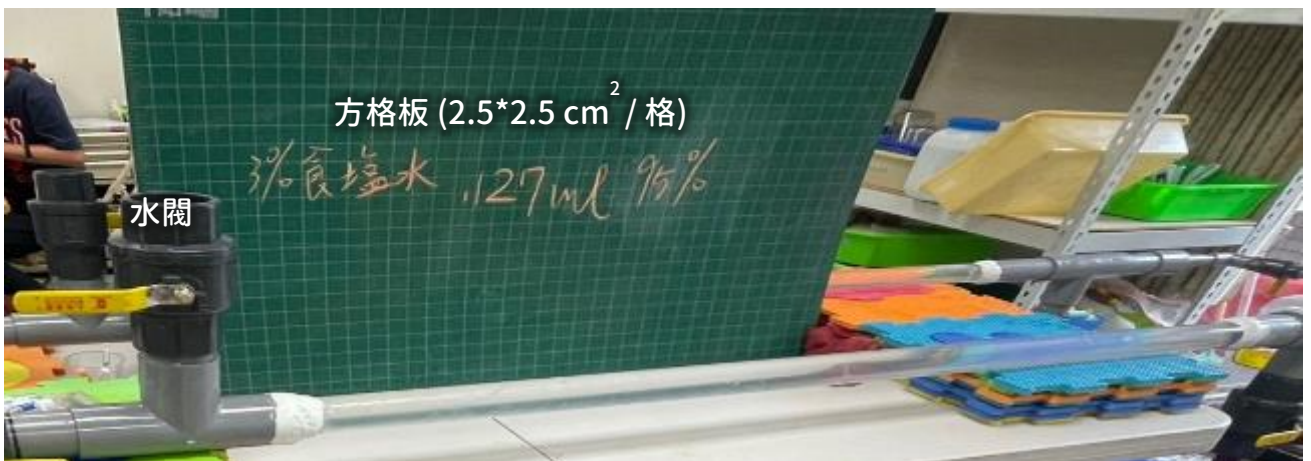
現今科技已可藉由血管檢測儀在無須進行侵入性採血的方式下，觀測到人體血管內紅血球的流動情形。倘若能利用此技術，將人體的血液流動情形數據化 (如側截面積、細胞運動速率等)，再與本實驗所建構之紅血球運動模型做比對，即可推知血管是否處於各種生理情況對應的血液，並進一步給予相對應的飲食指引，或甚至提供未來在疾病預防有別於過往的新思維。

綜上所述，本研究的目的為「瞭解面對七種血液情境，模擬紅血球的流動表現，並建構出不同生理狀態下，血管內部之紅血球運動模型」。據此，擬出待答問題如下：

- 一、建立研究對象雞卵黃細胞的基本資料。
- 二、探討最適合模擬紅血球運輸型態的卵黃細胞狀態。
- 三、探討卵黃細胞各形變狀態的速率與其側截面積關係。
- 四、探討卵黃細胞在運動過程中最大速率與形變程度之關係。
- 五、探討模擬不同血液情境下的微血管與小動脈中對應的血液之形變策略差異。
- 六、探討模擬不同血液情境下的微血管，紅血球平均最大瞬時速率和對應側截面積之數學關係。
- 七、探討模擬不同生理狀態下的小動脈中形變編號與平均最大瞬時速率和對應側截面積之數學關係。
- 八、探討模擬各種生理狀態的緊張微血管中，卵黃細胞平均最大瞬時速率和對應側截面積關係。
- 九、比較細胞在正常微血管和緊張型微血管中的形變與速率。
- 十、探討緊張微血管搭配各種不同生理狀態，細胞的形變編號與平均最大瞬時速率和對應側截面積之數學關係。

貳、研究設備及器材

一、架設血管模擬裝置

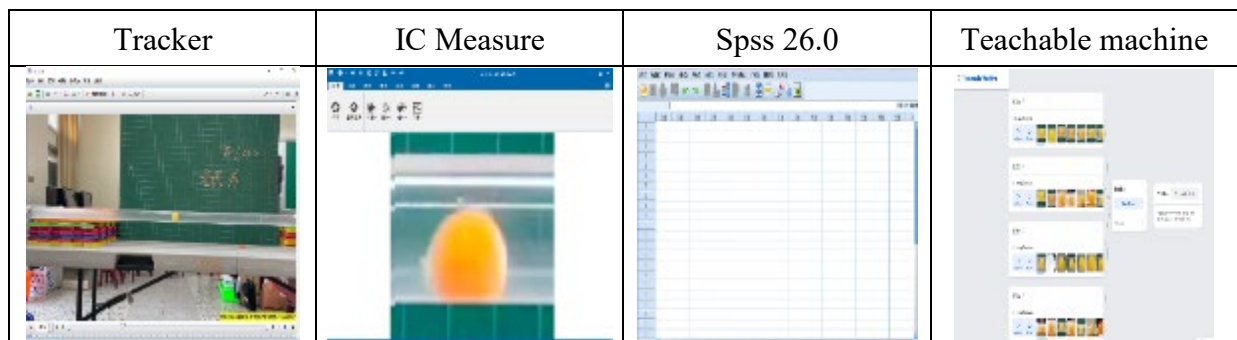


抽水馬達	流速器	硬質膠合劑
		

二、配置 20 公升 0.74% 之生理食鹽水 (酒精、CMC 增稠劑亦同)

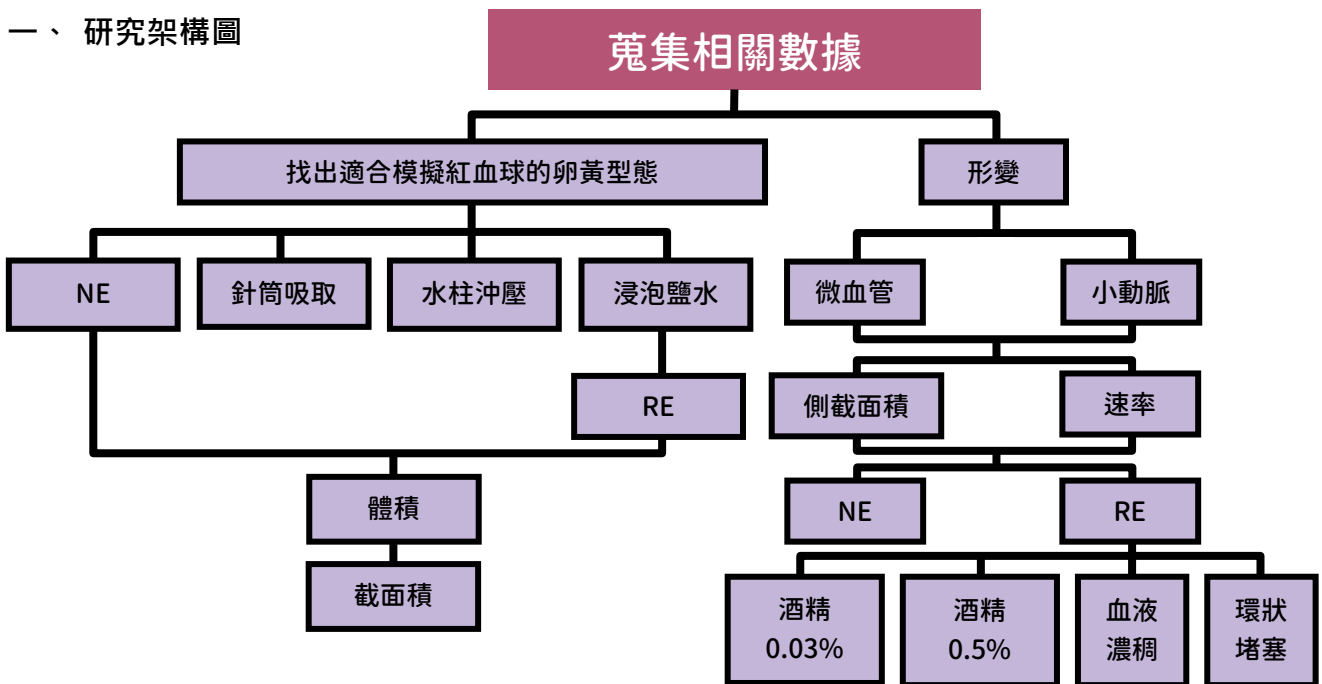


三、軟體分析

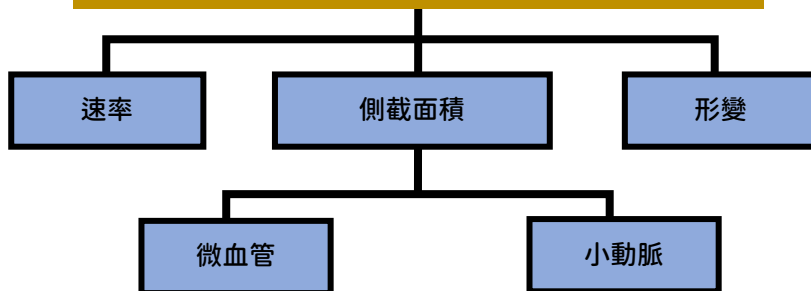


參、研究過程及方法

一、研究架構圖



建立紅血球運輸模型



二、名詞解釋

(一)Normal egg：一般市售雞卵黃細胞（以下報告裡簡稱 NE）。

(二)Rolling egg：浸泡 3.4%食鹽水 8 小時的雞卵黃細胞（以下報告裡簡稱 RE）。

三、研究方法

(一)配置 20 公升模擬血液

1. 取一大容器，測量並標記 20 公升刻度線（以 1 公升定量瓶測量 20 次）。
2. 用電子天平秤 $\frac{150}{11} \cdot [\text{欲配置之黏度 (cp)}] = \text{克 CMC}$ 與 148 克食鹽。
3. 先在大桶中加入約 3 公升蒸餾水，使大容器底部有足量體積的水覆蓋。
4. 將 CMC 經由篩子進入大容器中，同時迅速攪拌，使增稠劑更快更均勻的溶於水中。
5. 執行此步驟直至大容器中溶液高度到達 20 公升刻度線。

(二)配置各種生理情況對應的模擬血液（酒精、增稠劑）

1. 模擬飲酒後，血液酒精濃度 0.03%：量取 7.6mL 的酒精，加入 20 公升 4cp 0.74% 之生理食鹽水中。
2. 模擬飲酒後，血液酒精濃度 0.5%：量取 127ml 的酒精，加入 20 公升 4cp 0.74% 之生理食鹽水中。
3. 模擬血液濃稠（血脂肪過高），加入增稠劑：量取 204.5 克的 CMC 增稠劑、148 克食鹽，溶解步驟同「配置 20 公升模擬血液」方法。

四、架設實驗設備

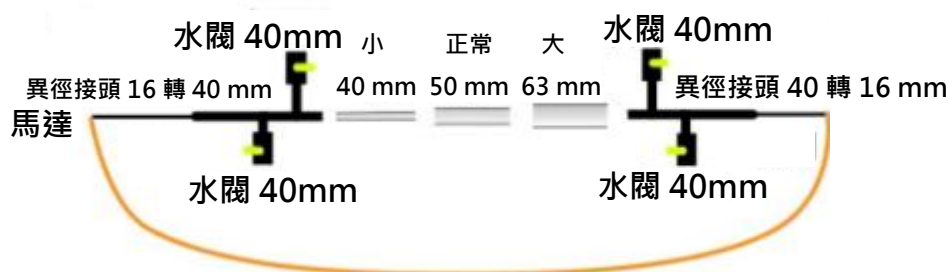
(一)設計血管模擬裝置

1. 一般生理情況之微血管與小動脈
2. 人體處於緊張狀態下的微血管

（輸入端變粗—擴張微血管，輸出端變細—收縮型微血管）

模擬類型	內徑
正常微血管	50mm
舒張型微血管	40mm
收縮型微血管	60mm

3. 設計圖



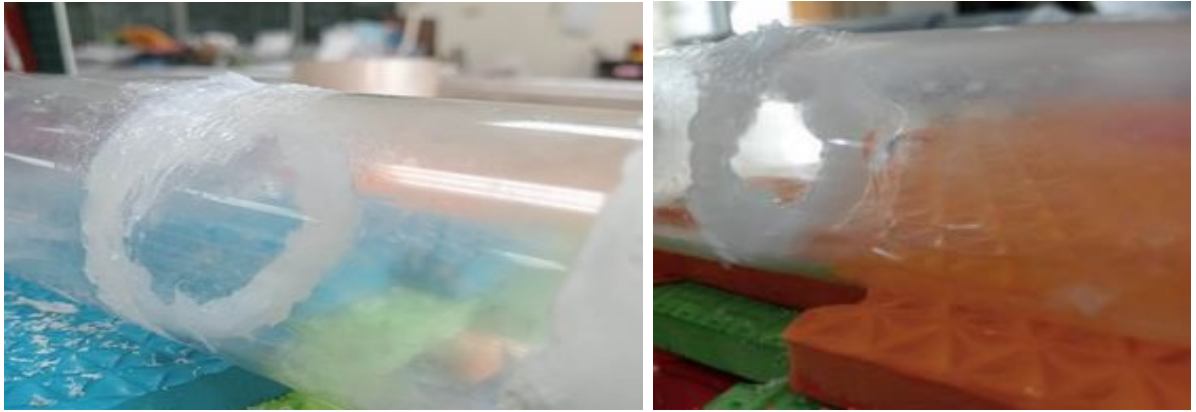
(二)組裝血管模擬裝置

1. 以硬質膠合劑連接灰色水管與水閥（PVC）。
2. 以防水修補土連接透明壓克力管與灰色水管（PVC）。
3. 將模擬裝置中一端連接至抽水馬達，利用抽水馬達抽取模擬血液。
4. 代管內充滿模擬血液且高度在水閥中達約 8 分滿後，關閉馬達，開啟上水閥，投入卵黃細胞。
（若管內未充滿足夠高度之生理食鹽水，則卵黃容易因壓力差而破裂）。
5. 開啟馬達（本實驗皆使用檔次 120：流量 = 15145 L/H），使卵黃細胞在受到馬達給定的沖力下在管內流動，同時以錄影紀錄，並佐以人為觀測紀錄。

6. 將拍攝後的影片使用軟體分析卵黃細胞的形變與流速變化，並加以統計分析。

(三) 模擬血管環狀堵塞

1. 確認其餘實驗皆完成後，將壓克力管上方鋸切開口，使注射筒得以伸入管內。
2. 將注射筒內填充 Silicone 後，伸入壓克力管中，沿管壁環繞一周填充 Silicone（如圖一）。



圖一、模擬各種生理情況對應的血液為環狀阻塞，左圖模擬小動脈、右圖模擬微血管

3. 選擇 Silicone 作為模擬血管環種堵塞的原因：

- (1) 便於塑型，可依需求做出對應的形狀。
- (2) 有些許彈性，與脂肪特性相似。

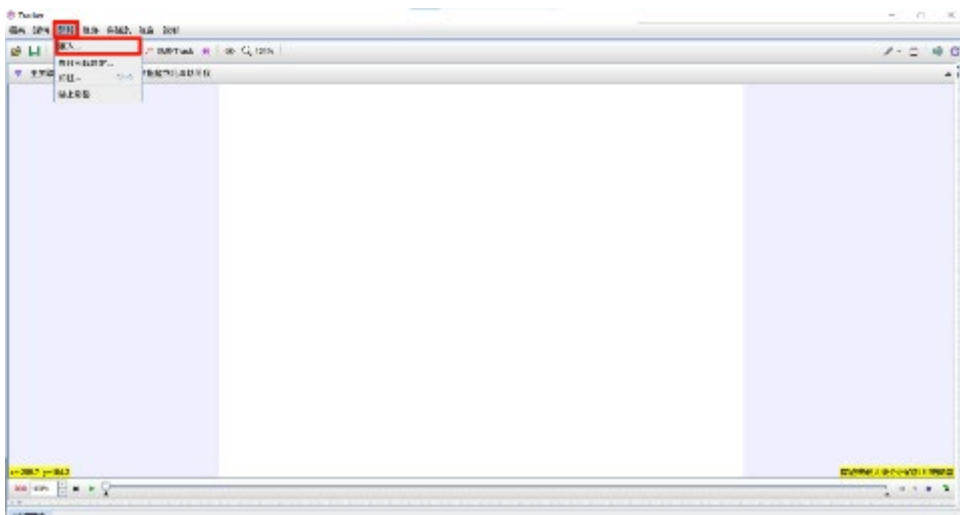
(四) 測量卵黃細胞的體積（排水法）

1. 取一 1000 毫升量筒，盛裝生理食鹽水至 200 mL 刻度線。
2. 傾斜量筒，使卵黃細胞滑入量筒，並沒入水中。
3. 取一微量滴管，一次加 1 mL，加水至下一個刻度線（量筒刻度讀值）。

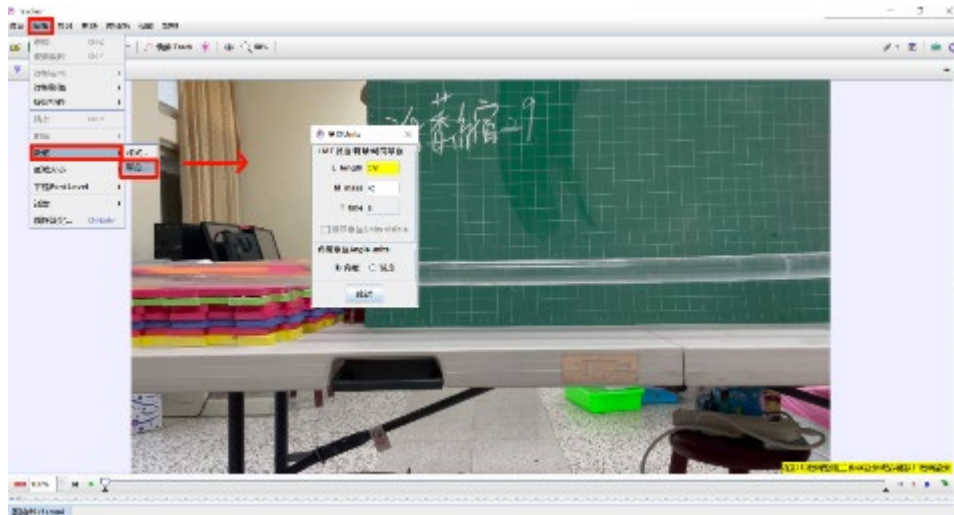
$$V_{\text{卵黃細胞}} = \text{量筒刻度讀值} - V_{\text{微量滴管}} - 200 \text{ mL}$$

(五) 以 Tracker 軟體測量卵黃細胞移動的速率

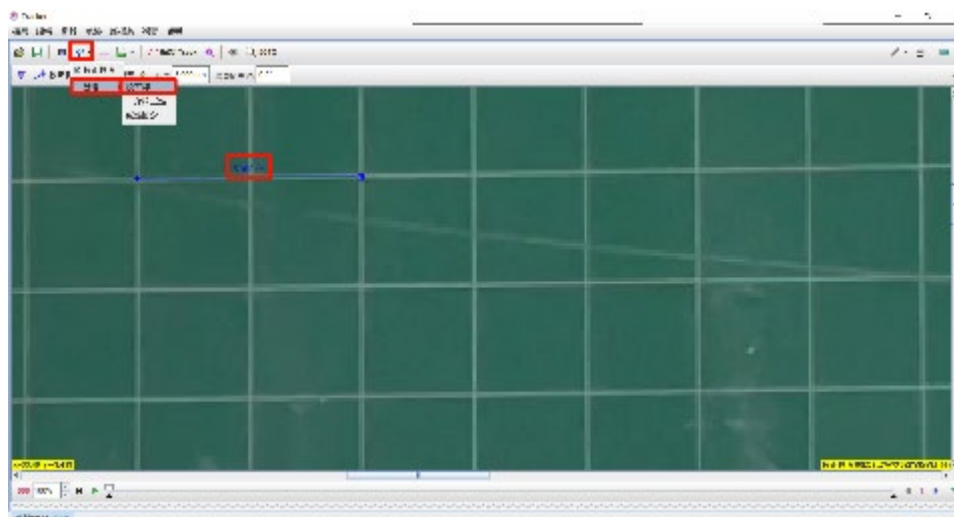
1. 上傳影片至 Tracker。



2. 設定單位為 。

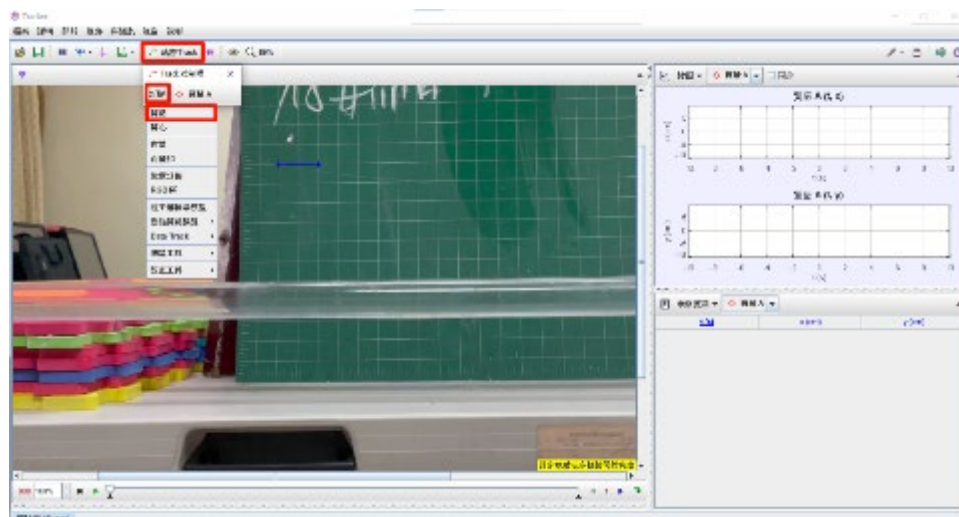


3. 點選「校正桿」取兩格長度，並設定比例尺 5cm（墊板每格邊長為 1cm）。

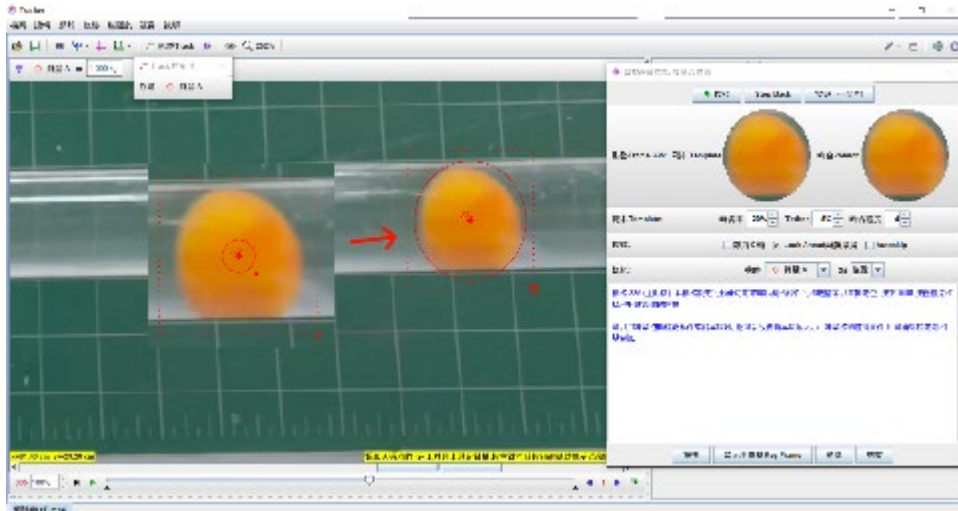


4. 點按「軌跡」→「新增」→「質點」，鍵盤按下 ctrl+shift，鼠標同時定位到欲追蹤對象—卵黃細胞。

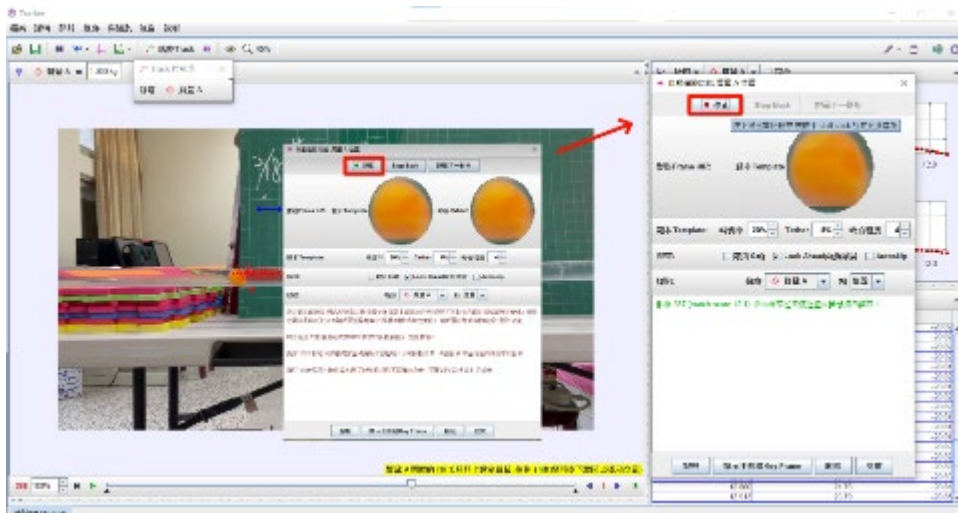
（若軟體因周邊環境干擾，導致無法定位，則按鍵盤 shift，採取手動定位方式）



- 欲追蹤對象產生圓框，拉動右下角圓點，調整圖形至略大於卵黃細胞，使之最符合欲追蹤之圖形。



- 點選「搜尋」後，觀看影片撥放直到卵黃細胞流動結束後，點選「停止」。



- 點選右方表格內容，將 x、y 取消，新增 v。

顯示表格

質量 A

<input type="checkbox"/> x	<input type="checkbox"/> y	<input type="checkbox"/> r	<input type="checkbox"/> Br
<input type="checkbox"/> vx	<input type="checkbox"/> vy	<input checked="" type="checkbox"/> v	<input type="checkbox"/> Br
<input type="checkbox"/> ax	<input type="checkbox"/> ay	<input type="checkbox"/> a	<input type="checkbox"/> Ba
<input type="checkbox"/> px	<input type="checkbox"/> py	<input type="checkbox"/> p	<input type="checkbox"/> Bp
<input type="checkbox"/> θ	<input type="checkbox"/> ω	<input type="checkbox"/> α	<input type="checkbox"/> K
<input type="checkbox"/> stop	<input type="checkbox"/> frame	<input type="checkbox"/> pixelx	<input type="checkbox"/> pixely
<input type="checkbox"/> L			

定義... Text Columns 結束

表格資料

t (s)	v (cm/s)
12.479	29.51
12.513	29.42
12.546	29.06
12.579	28.82
12.613	29.10
12.646	29.03
12.679	29.03
12.713	29.22
12.746	29.21
12.779	29.05
12.813	29.10
12.846	28.84
12.880	28.83
12.913	28.76
12.946	28.84
12.980	29.36
13.013	29.41
13.046	

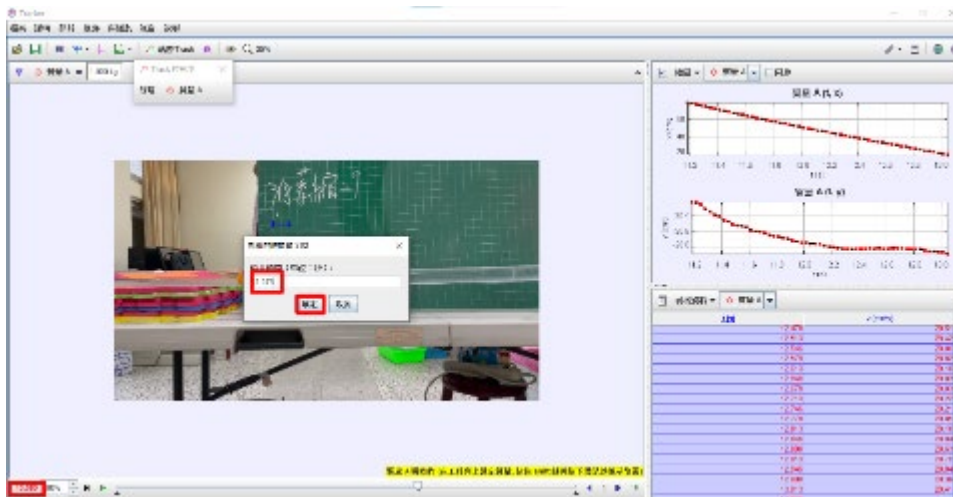
8. 對右方表格 (t, v) 全選按下右鍵，複製同格式。

t (s)	v (cm/s)
12.479	29.51
12.513	29.42
	29.06
	28.82
	29.10
	29.03
	29.03
	29.22
	29.21
	29.05
	29.10
	28.84
	28.63
	28.76
	28.84
	29.38
	29.41

	A	B
1	增稠 RE 29	微血管
2	t	v
3	11.178	
4	11.211	35.08
5	11.245	35.33
6	11.278	35.05
7	11.311	34.84
8	11.345	35.07
9	11.378	35.56
10	11.411	35.07
11	=MAX(B4:B5)	6
12	11.478	34.32
13	11.511	34.07
14	11.545	33.91
15	11.578	33.83
16	11.612	33.8
17	11.645	33.89
18	11.678	33.71
19	11.712	32.69
20	11.745	32.48
21	11.778	33.02
22	11.812	32.06
23	11.845	32

9. 將資料轉至 Excel，以利用 Max 公式，找出後續分析所需之瞬時最大速率 V_{max} ，及其對應秒數，並劃記出來待後續分析使用。

10. 回到 Traker 軟體，定位到 V_{max} 的對應秒數並截圖後，待用 IC Measure 分析卵黃細胞側截面積。

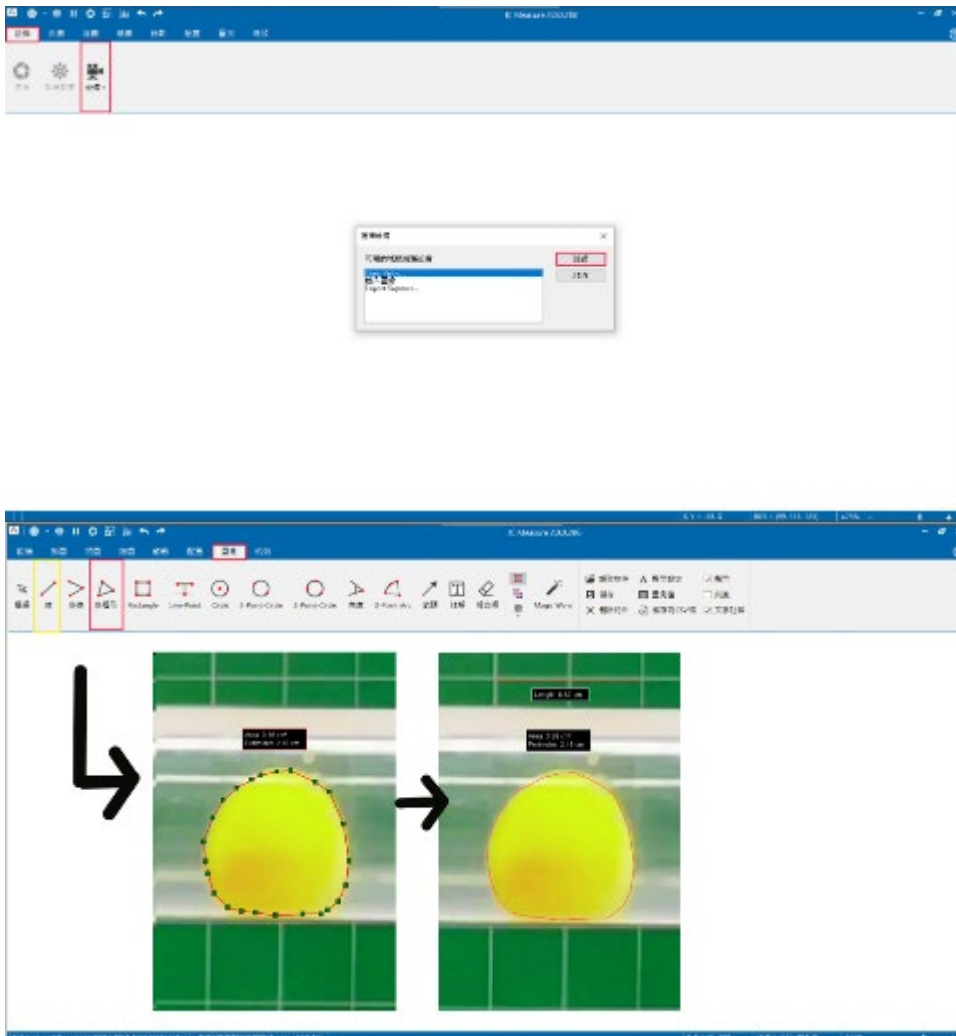


(六)以 IC Measure 軟體測量卵黃細胞側截面積

1. 從所拍攝之實驗影片中，擷取一張含有比例尺的卵黃細胞照片。



2. 照片上傳至 IC Measure 進行分析。

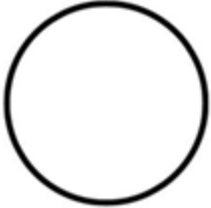
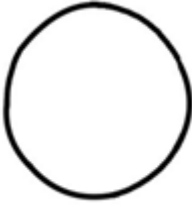
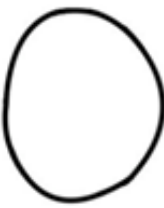



- (1) 點選「量測」。
- (2) 選擇「多邊形」。
- (3) 將卵黃細胞置於畫面中心，向前滾動滑鼠放大到 700 倍以上。
- (4) 沿著卵黃細胞邊緣〔定義為黃色色塊他色色塊交接處〕。
- (5) 連結至起點位置。
- (6) 點選「線段」取得兩格方格作為比例尺。
- (7) 由於軟體本身只會單以兩格方格作為比例尺，但不會轉算兩格方格之邊長為 5 cm，因此藉由 IC Measure 得到的數據，後會再用 Excel 進行一次校正。

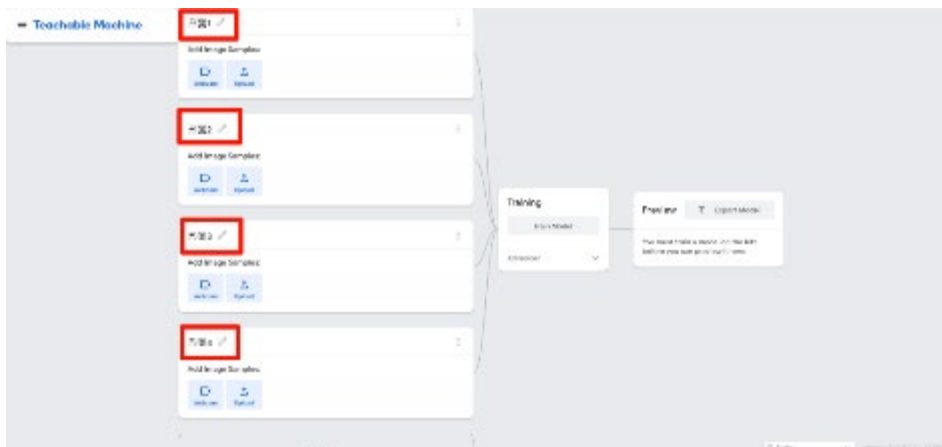
(七)利用 Teachable machine 軟體進行大數據分析比對



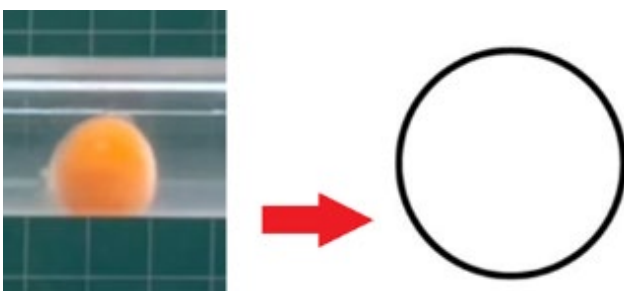
1. 模擬血管模型，在其中放入卵黃細胞，並使之流動並拍攝。
2. 將所有以拍攝到的影片畫面，搭配實驗記錄，進行人工歸納出四種卵黃細胞形變狀態，如下圖所示之形變 1、2、3、4。

形變 1	形變 2	形變 3	形變 4
			

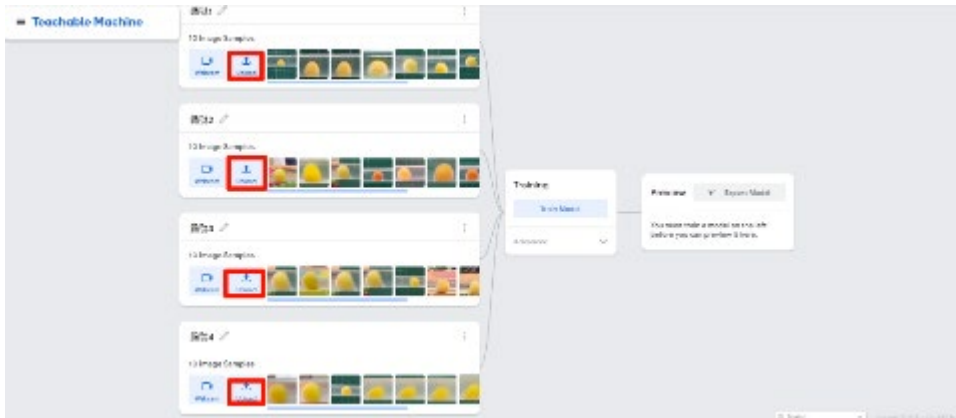
3. 開啟 teachable machine 並分出四個類別，分別為形變 1、2、3、4。



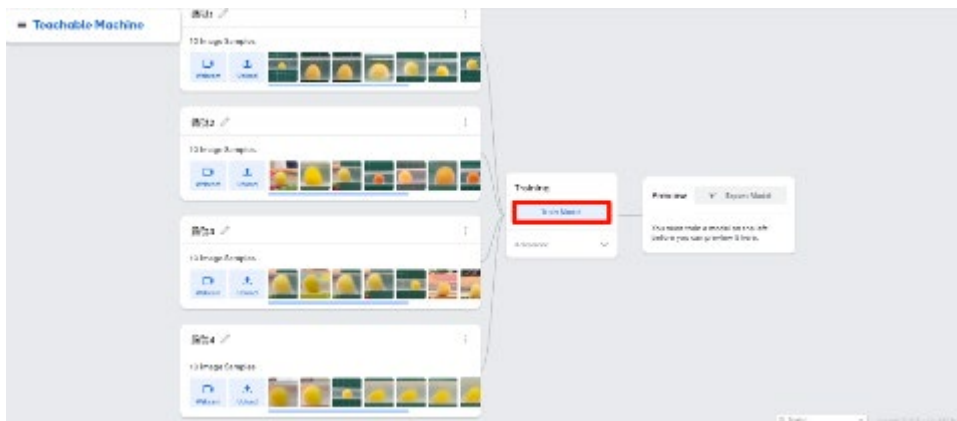
4. 為訓練軟體能學習各形變圖形的定義，用人工方式找出符合形變之對應圖片的卵黃細胞並截圖。



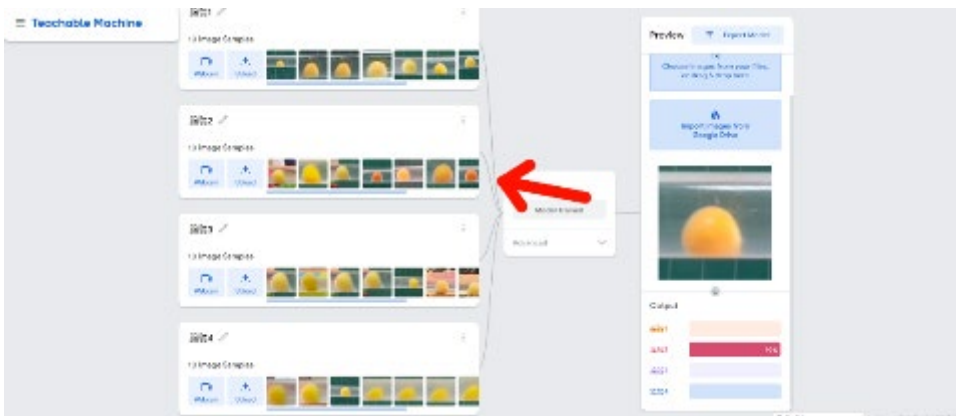
5. 在各組類別至少放入 10 組符合形變之對應卵黃細胞照。



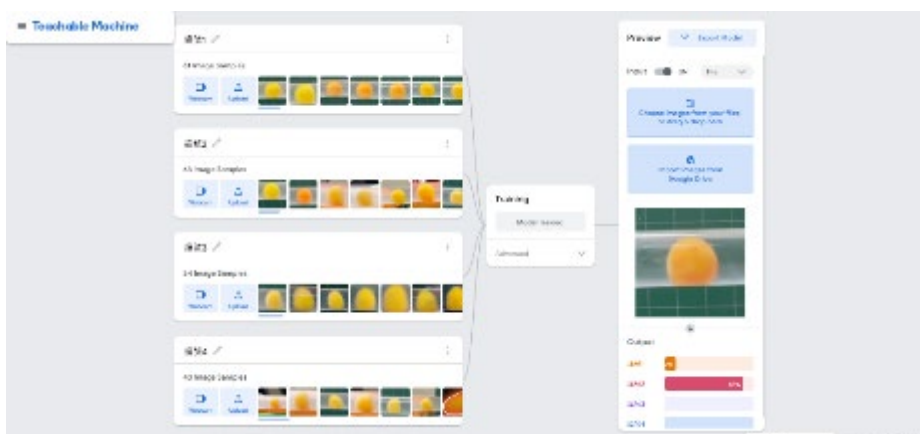
6. 將此上述卵黃細胞照放入對應的編號中，並重複此動作。



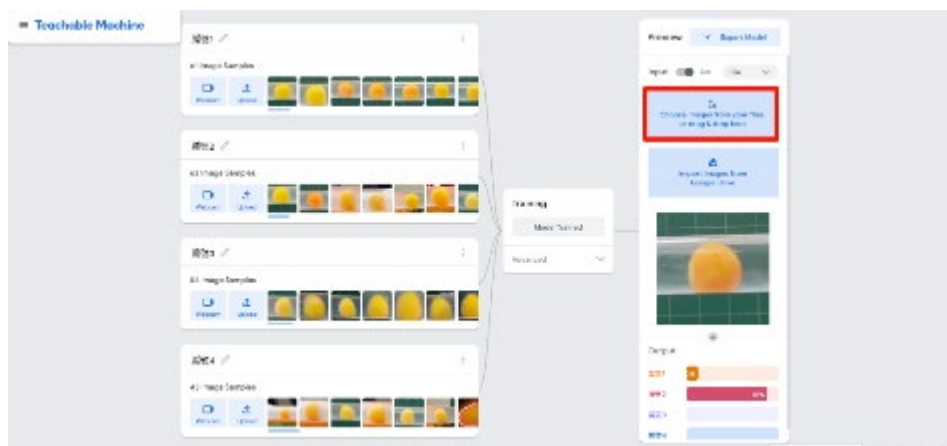
7. 將軟體再訓練一次。



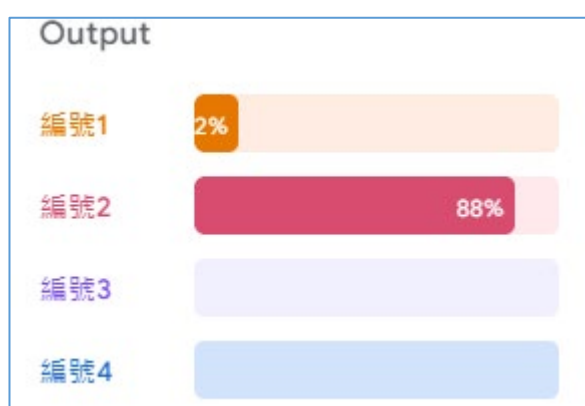
(1) 將實驗截至影片的相關卵黃照，經人工判別後放入軟體分析。



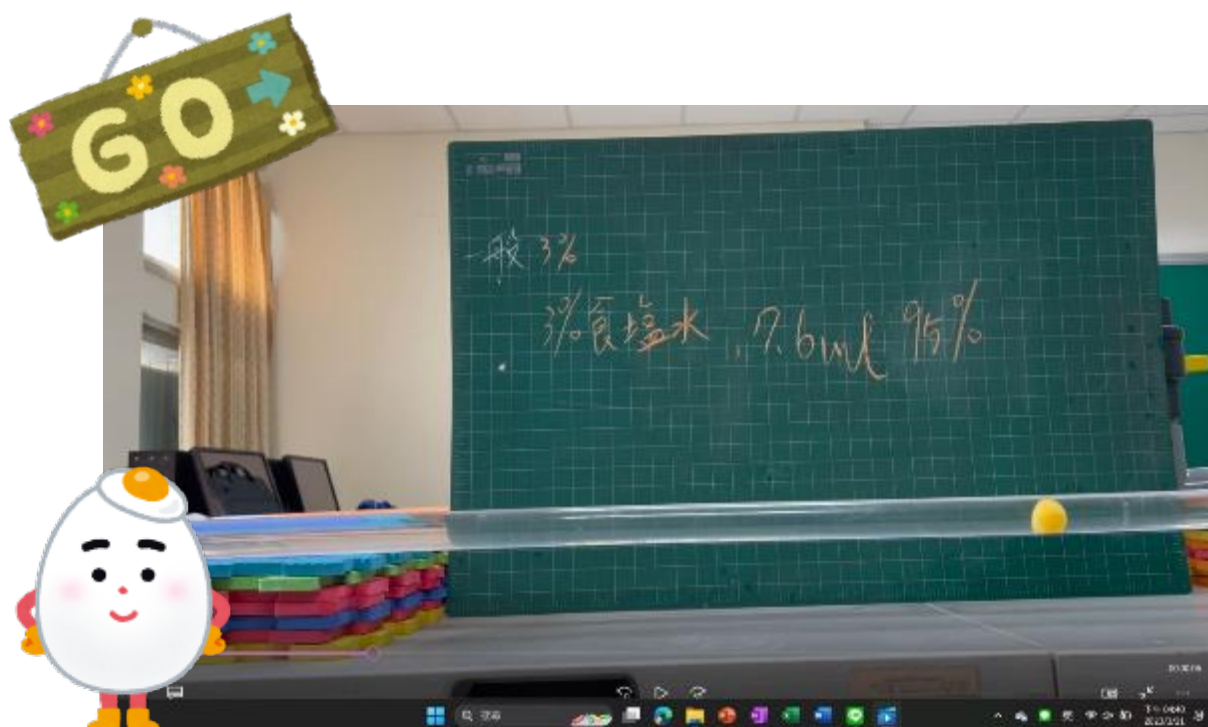
(2) 重複前一步驟直到分析符合度可以大於 80%。



8. 將從各影片蒐集到欲分析之圖片均上傳軟體分析。



9. 經軟體相似比對後，定義相似度占比最大者，即為此圖片之形變狀態編號。



肆、研究結果

一、建立研究對象雞卵黃細胞的基本資料。

(一)平均截面積

將市售雞卵黃細胞放置於培養皿中，擺放比例尺後拍照，再以 IC Measure 軟體估測卵黃細胞，結果顯示市售卵黃細胞平均截面積為 $16.14 \pm 1.17 \text{ cm}^2$ 。

(二)平均體積

將市售雞卵黃細胞放置於 1000ml 量筒中量測體積，結果顯示市售卵黃細胞平均體積為 $18.17 \pm 2.01 \text{ cm}^3$ 。

二、探討最適合模擬紅血球運輸型態的卵黃細胞狀態。

(一)模擬生理食鹽水之濃度

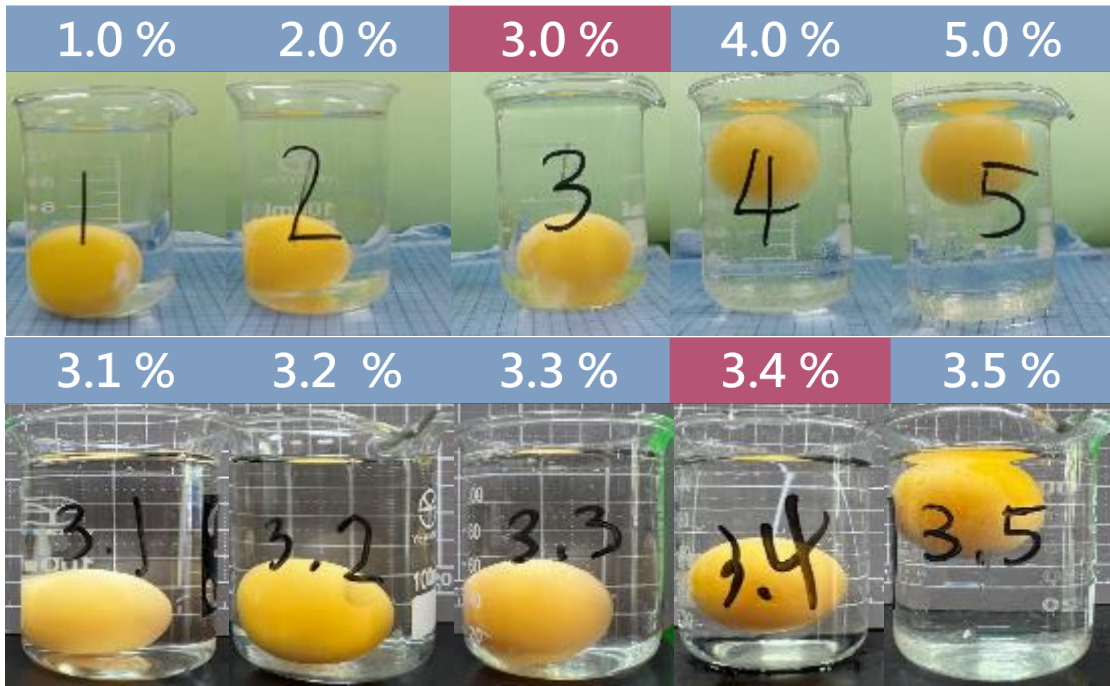
過往文獻中顯示 0.75% 為鳥類生理食鹽水濃度，但我們經實驗得到 0.74% 更適合作為雞卵黃細胞的生理食鹽水濃度。

(二)使卵黃細胞在運動過程中產生轉動現象

為了讓市售雞卵黃細胞更能模擬紅血球型態，我們嘗試使用極細針筒直接抽取卵黃；在卵黃膜上戳一小洞後，用細水柱沖壓出一點卵黃；配置一系列梯度的鹽水

(如下頁圖二) ... 等，最終我們發現，將市售雞蛋卵黃細胞浸泡 3.4% 食鹽水 8 小時後，會因滲透壓的作用，使卵黃細胞內的溶質分布不均，進而將經過處理的卵黃細胞放入模擬血管系統時，可以如紅血球一般在細胞移動時，呈現轉動狀態，故本實驗後續模擬都採用經 3.4% 食鹽水浸泡 8 小時之雞卵黃細胞 (Rolling egg, 之後報告簡稱 RE)，而對照組為未經處理的市售雞卵黃細胞 (Normal egg, 之後報告簡稱 NE)。



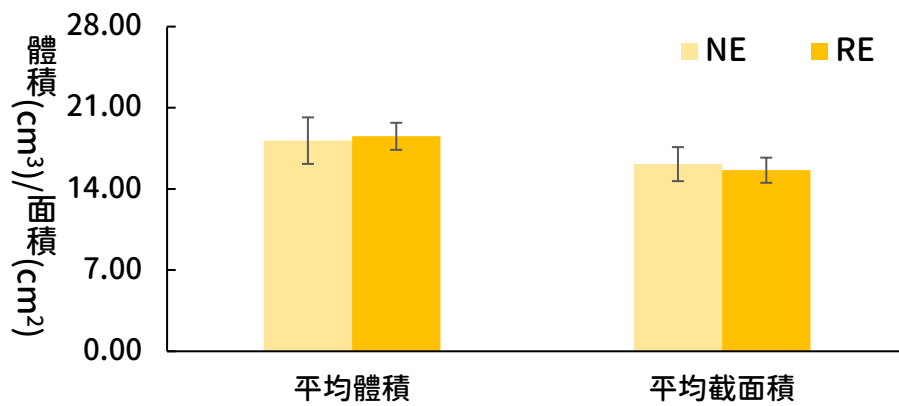


圖二、將卵黃細胞浸泡至一系列濃度的鹽水



圖三、將卵黃細胞浸泡 3.4%食鹽水 8 小時後，其溶質分布不均之情形

為建立兩種蛋的基本資料，我們藉由量筒排水法及 IC Measure，取得體積及側截面積，結果如圖四。



圖四、兩種蛋的平均體積與截面積比較圖

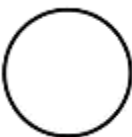
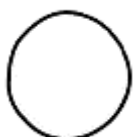
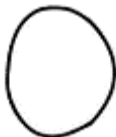





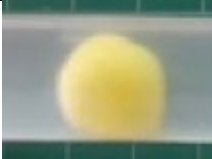



☆ 小結：卵黃細胞經浸泡 3.4%食鹽水 8 小時前後體積與截面積皆無顯著差異，但可使卵黃細胞如紅血球般運動旋轉，更貼近模擬紅血球的運動狀態。

三、探討卵黃細胞各形變狀態的速率與其側截面積關係。

(一) 探討卵黃細胞在運動過程中的形變

藉由人為影片觀測，我們發現卵黃細胞在模擬血管裝置中，大致可以歸類成四種形變類型，如同月相般。有此發現後，我們利用 Teachable machine 軟體進行大數據分析比對，結果呈現於表一。

表一、細胞運動速率、截面積對應的不同細胞形狀之彙整表

形狀編號	1	2	3	4
示意圖				
月相 (舉例)				
實際拍攝				
平均速率 (cm/s)	20.50	29.78	30.05	30.45
平均截面積 (cm ²)	14.18	14.17	15.25	14.60




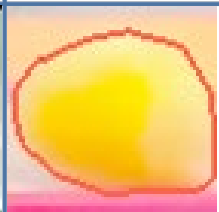
四、探討卵黃細胞在運動過程中最大速率與形變程度之關係。

為找出卵黃細胞在運動過程中最大速率與對應之側截面積之關係，本實驗利用 tracker 及以 IC Measure 軟體分析，其結果呈現如下：


(一) NE (未經過處理的市售雞卵黃細胞) 最大速率與形變程度之關係

形變編號	1	2	3	4
最大瞬時速率 (cm/s)	20.1	35.85	39.36	13.17
實際截面積 (cm ²)	15.02	18.51	18.67	15.72
對應圖片				

(二)RE (浸泡 3.4%食鹽水中 8 小時後的市售雞卵黃細胞) 最大速率與形變程度之關係

形變編號	1	2	3	4
最大瞬時速率 (cm/s)	11.64	25.3	38.93	37.85
實際截面積 (cm ²)	14.06	11.06	11.35	11.73
對應圖片				

(三)酒精濃度 0.03% (酒駕超標濃度) 最大速率與形變程度之關係

形變編號	1	2	3
最大瞬時速率 (cm/s)	23.5	23.54	39.1
實際截面積 (cm ²)	17.19	15.94	15.38
對應圖片			



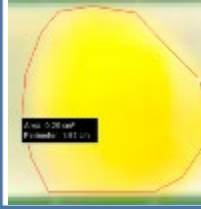
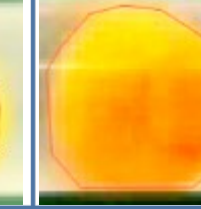
(四)酒精濃度 0.5% (人體可承受酒精量的最大值) 最大速率與形變程度之關係

形變編號	1	2	3	4
最大瞬時速率 (cm/s)	10.98	23.11	37.88	38.67
實際截面積 (cm ²)	14.58	21.69	14.31	15.9
對應圖片				

(五)NE 置入 CMC 增稠劑（模擬人體血液濃稠度標準之上限 $15 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ ）最大速率與形變程度之關係

形變編號	1	2	3
最大瞬時速率 (cm/s)	14.44	24.39	26.37
實際截面積 (cm^2)	14.25	12.93	13.84
對應圖片			

(六)RE 置入 CMC 增稠劑（模擬人體血液濃稠度標準之上限 $15 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ ）最大速率與形變程度之關係

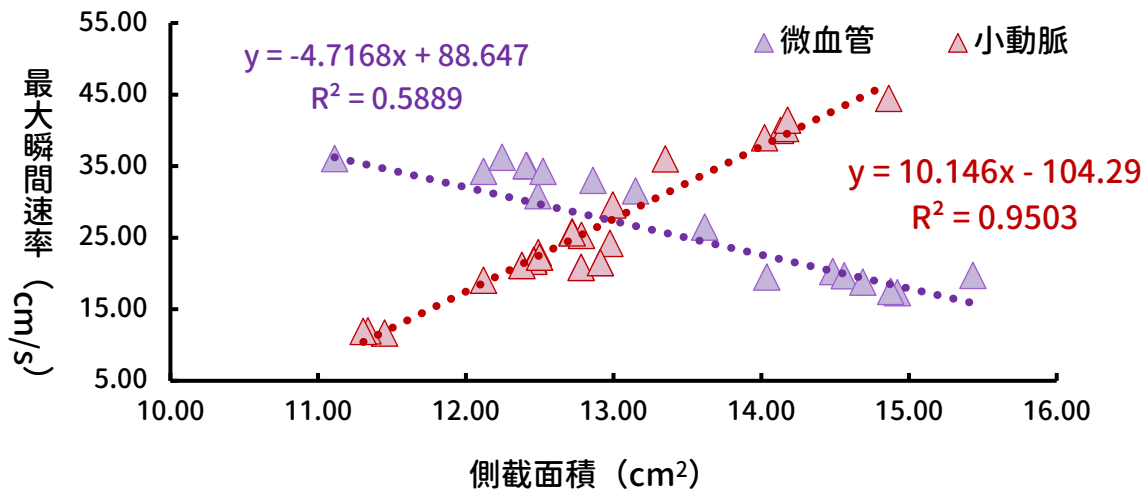
形變編號	1	2	3	4
最大瞬時速率 (cm/s)	13.18	20.21	33.88	30.34
實際截面積 (cm^2)	19.9	17.44	18.67	15.79
對應圖片				

五、探討模擬不同血液情境下的微血管與小動脈中對應的血液之形變策略差異。

為探討紅血球面對四種各種生理情況對應的血液，故以下的實驗採用 RE 來模擬紅血球。

(一)對照組：以 4cp 生理食鹽水模擬血液

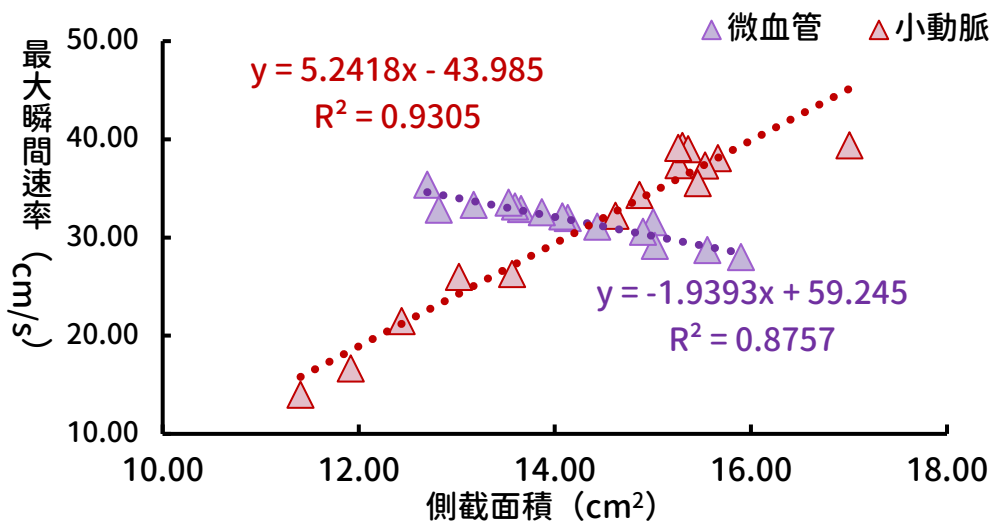
圖五結果顯示，RE 分別在微血管與小動脈間運動形變策略呈相反趨勢，其在側截面積與平均最大瞬間速率之相關性係數分別為-0.80、0.97。



圖五、微血管與小動脈中，RE 側截面積與平均最大瞬間速率之線性關係比較圖

(二)生理情況一：酒精濃度 0.03%（酒駕超標濃度，血液濃稠度=3.47 mPa·s）的狀態

圖六可以看出，RE 分別在微血管與小動脈間運動形變策略呈相反趨勢，其在側截面積與平均最大瞬間速率之相關性係數分別為-0.94、0.96。

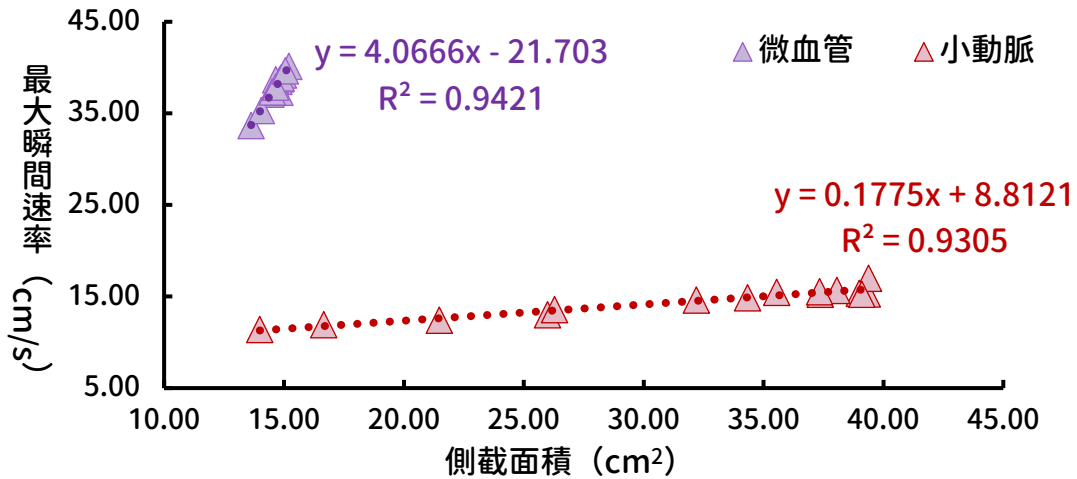


圖六、微血管與小動脈中，RE 面對酒精濃度 0.03% 之各種生理情況對應的血液，側截面積與平均最大瞬間速率之線性關係比較圖

(三)生理情況二：酒精濃度 0.5%

(人體可承受酒精量的最大值，血液濃稠度 3.80 mPa·s) 的狀態

由圖七可以看出，RE 分別在微血管與小動脈間運動形變策略呈相同趨勢，其在側截面積與平均最大瞬間速率之相關性係數分別為 0.97、0.94。隨著酒精濃度增加，其會因滲透壓而進入細胞內部，此時酒精會和細胞質產生作用，使細胞質逐漸固化，這也就是為何疫情期間可以用酒精殺菌的原理。酒精濃度 0.5%，雖不到讓細胞質固化到影響代謝使細胞死亡，但卻影響了細胞運動能動性 (Cell Motility)。

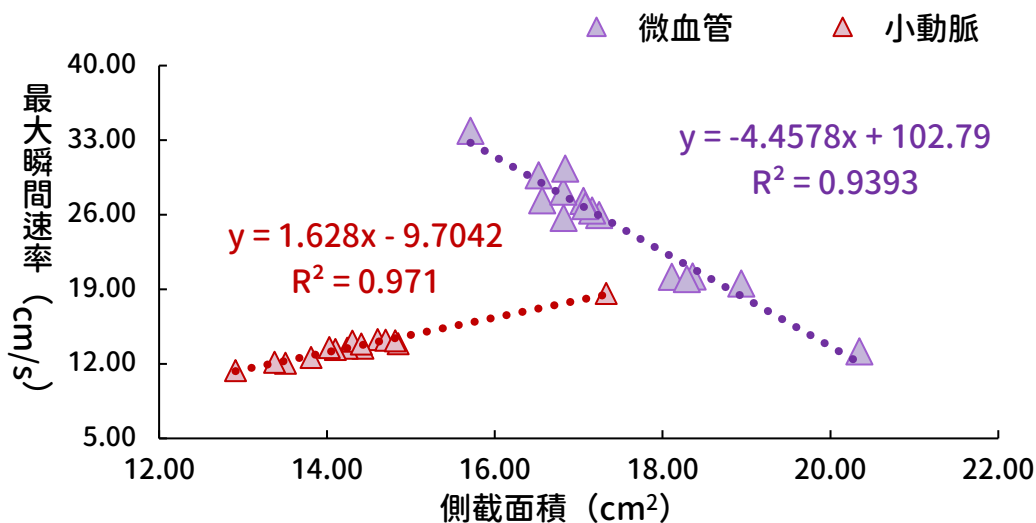


圖七、微血管與小動脈中，RE 面對酒精濃度 0.5%之各種生理情況對應的血液，側截面積與平均最大瞬間速率之線性關係比較圖

(四)生理情況三：CMC 增稠劑

(模擬人體血液濃稠度標準之上限，血液濃稠度=15 mPa·s) 的狀態

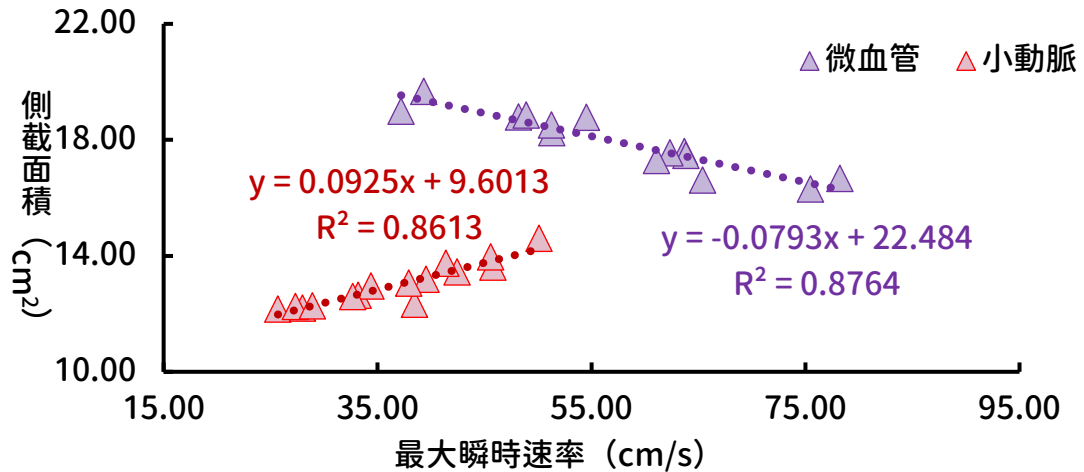
由圖八可以看出，RE 分別在微血管與小動脈間運動形變策略呈相反趨勢，其在側截面積與平均最大瞬間速率之相關性係數分別為-0.97、0.99。



圖八、微血管與小動脈中，RE 面對血液濃稠之各種生理情況對應的血液，側截面積與平均最大瞬間速率之線性關係比較圖

(五)生理情況四：血管環狀堵塞

因為目前實驗裝置的侷限，現今的系統無法模擬堵塞後方的紅血球運動狀態（因卵黃細胞通過堵塞處會破裂），所以本實驗是模擬紅血球在遭遇堵塞前之運動狀態。由圖九可以看出，RE 分別在微血管與小動脈間運動形變策略呈相反趨勢，其在側截面積與平均最大瞬間速率之相關性係數分別為-0.94、0.93。

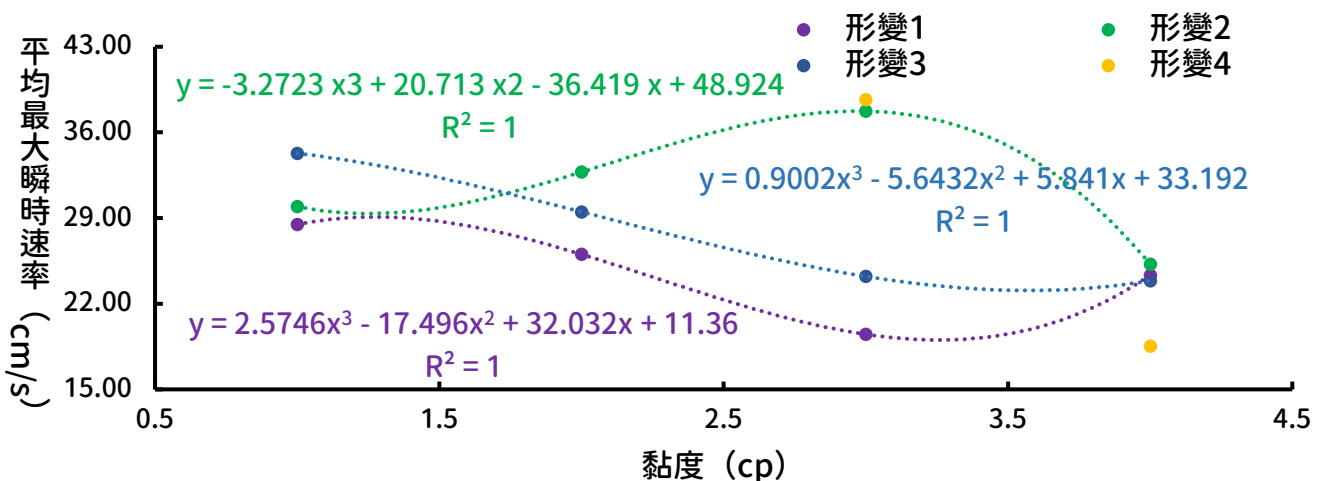


圖九、微血管與小動脈中，RE 面對血管堵塞之各種生理情況對應的血液，側截面積與平均最大瞬間速率之線性關係比較圖

六、探討模擬不同血液情境下的微血管，紅血球平均最大瞬間速率和對應側截面積之數學關係。

(一)探討在各種不同生理狀態下的微血管中，形變編號與平均最大瞬間速率之數學關係

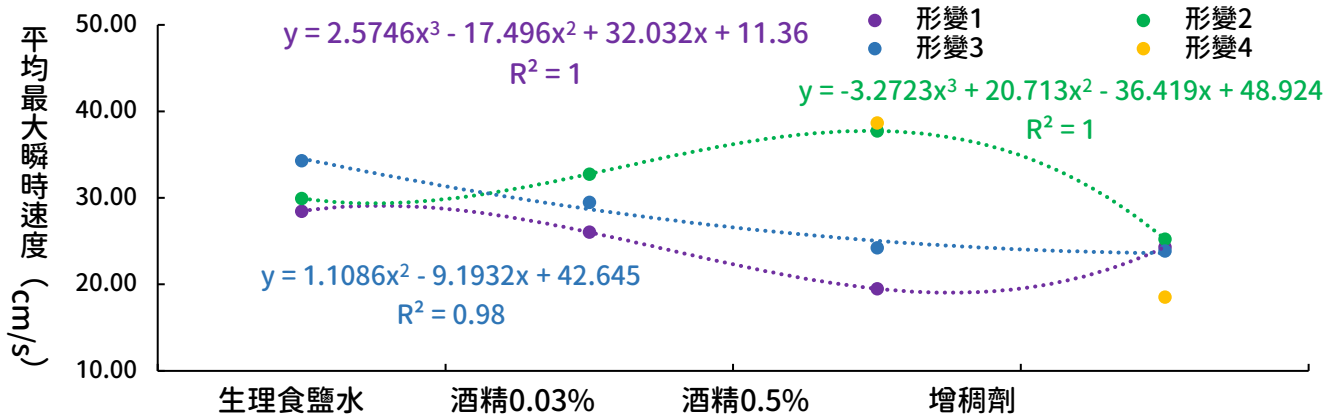
圖十結果顯示，形變 4 僅在血液濃稠度大於 3.8 mPa·s 的情況下發生。



圖十、建立不同生理狀態下的微血管中，卵黃細胞形變編號與平均最大瞬間速率之模型

(二)探討在各種不同生理狀態下的微血管中，形變編號與對應側截面積之數學關係

當血液酒精濃度 0.03%時，各細胞無論處於何種形變狀態，其對應側截面積差異不大。

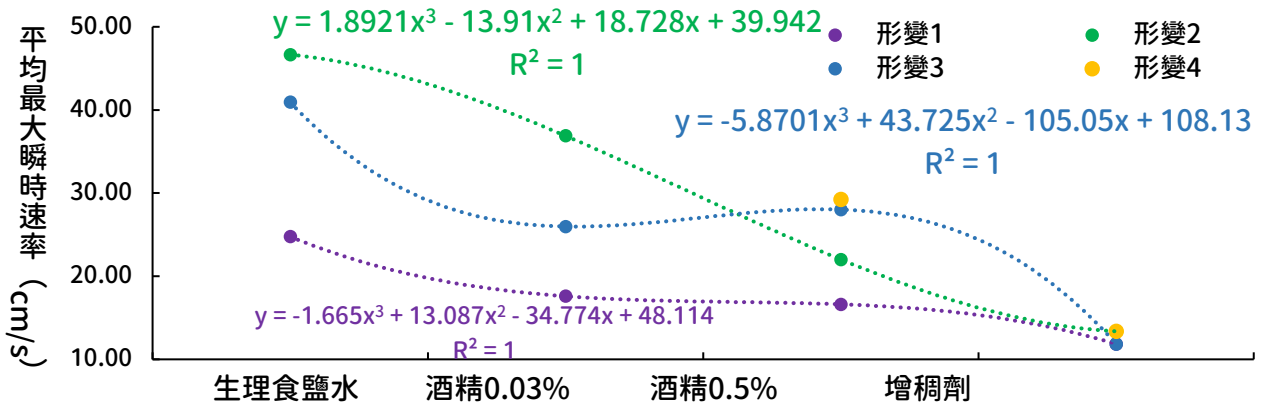


圖十一、建立不同生理狀態下的微血管中，卵黃細胞形變編號與對應側截面積之模型

七、探討模擬不同生理狀態下的小動脈中形變編號與平均最大瞬時速率和對應側截面積之數學關係。

(一)探討各種不同生理狀態下的小動脈中，形變編號與平均最大瞬時速率之數學關係

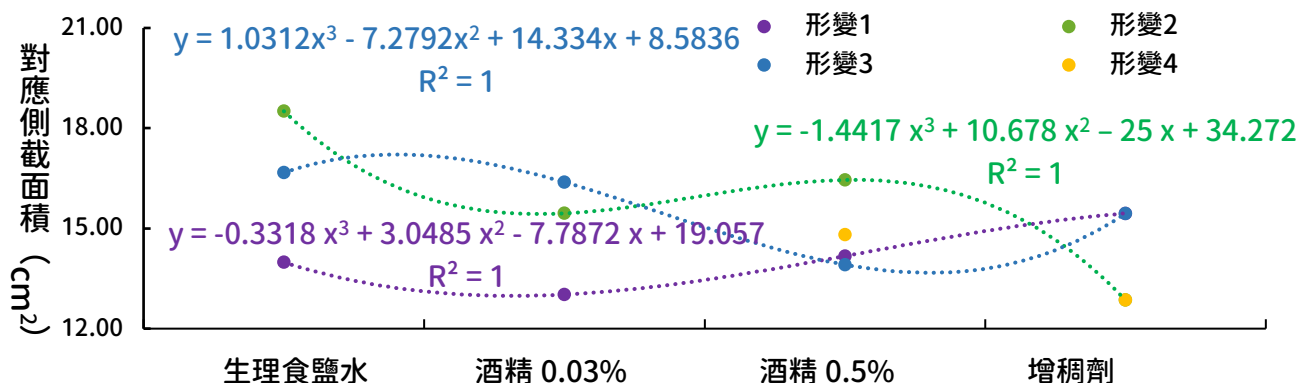
圖十二結果顯示，細胞運動平均最大瞬時速率與血液濃稠度呈負相關。當血液極度濃稠（15 mPa·s），此時細胞運動的平均最大瞬時速率差異不大，即便是形變 4 亦同。



圖十二、建立不同生理狀態下的小動脈中，卵黃細胞形變編號與平均最大瞬時速率之模型

(二)探討小動脈在各種不同生理狀態下的形變編號與對應截面積之數學關係

圖十三結果顯示，細胞處於形變 1 時，其對應截面積會隨血液濃稠度上升而上升。



圖十三、建立不同生理狀態下的小動脈中，卵黃細胞形變編號與側截面積之模型

八、探討模擬各種生理狀態的緊張微血管中，卵黃細胞平均最大瞬時速率和對應側截面積關係。

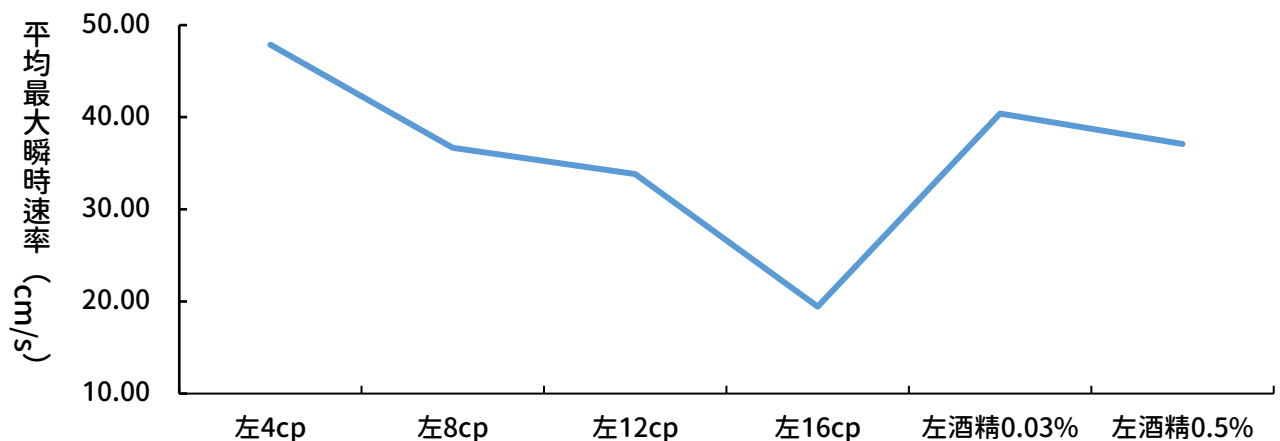
(一)細胞運動過程中的平均最大瞬時速率

1. 濃稠度與最大瞬時速率在模擬系統中的關聯

在本實驗中，緊張型微血管模擬系統中微血管的粗細，由近心臟端至疏心臟端，順序排列為：收縮微血管（細）→正常微血管→擴張微血管（粗）。而我們觀察到當流體濃稠度增加時，細胞在運動過程中達最大瞬時速率的對應位置，有向後推移的趨勢。

2. 在不同的生理狀況下的緊張微血管對應的卵黃細胞平均最大瞬時速率

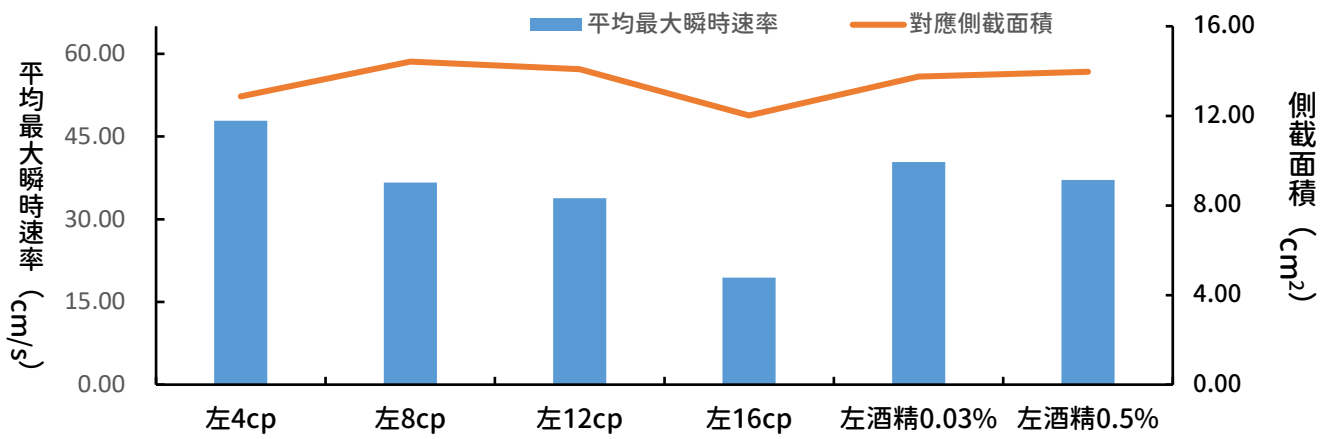
圖十四結果顯示，當血液濃稠度上升時，細胞運動的平均最大瞬時速率有下降的趨勢。



圖十四、人體處於緊張狀態下的微血管在不同生理狀況中對應的卵黃細胞平均最大瞬時速率

3. 緊張微血管在不同濃稠度時，卵黃細胞平均最大瞬時速率與對應側截面積之關聯性

圖十五結果顯示，當血液濃稠度處於 8 cp 和 12cp 時，其平均最大瞬時速率的對應側截面積大小差異不大。當處於緊張狀態時，血液中含有酒精濃度 0.5%的狀態下，卵黃細胞平均最大瞬時速率與對應側截面積數據和標準濃稠度中的穩定狀況極為相近。

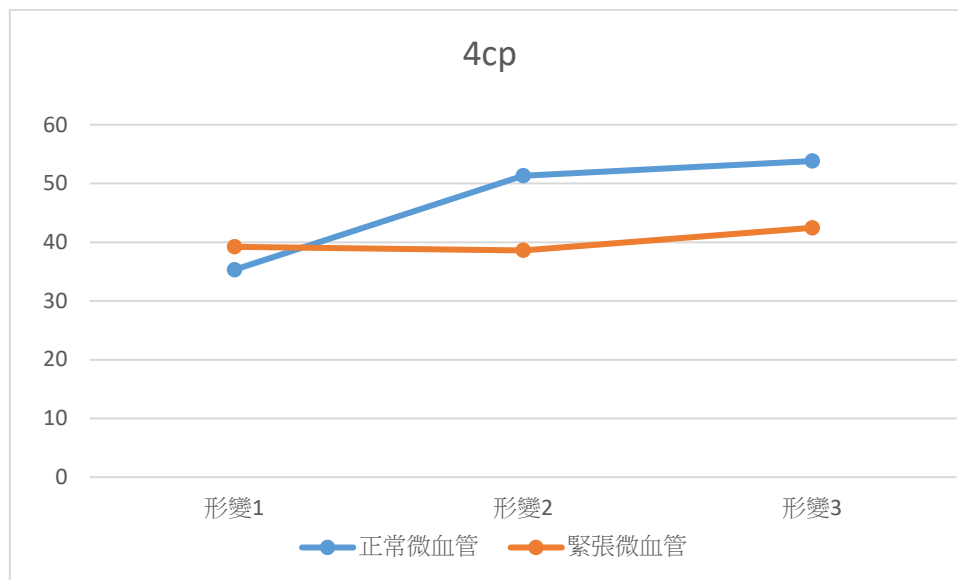


圖十五、緊張狀態下微血管在不同濃稠度時平均最大瞬時速率與對應側截面積之關聯性

九、比較模擬紅血球細胞在正常微血管和緊張型微血管中的形變與速率

(一) 血液濃稠度為 4cp 的細胞形變和運動速率

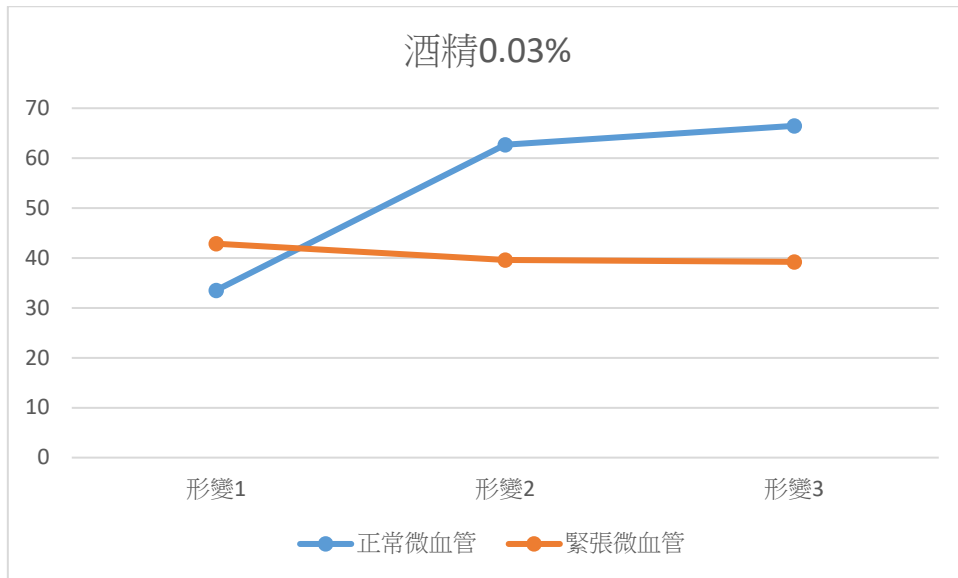
圖十六結果顯示，血液濃稠度 4 cp 時，正常微血管與緊張微血管之速率差異最小；而後形變皆隨速率上升而有增加的趨勢。



圖十六、血液濃稠度 4 cp 時，正常微血管與緊張微血管之形變和運動速率

(二) 血液中酒精濃度 0.03%的細胞形變和運動速率

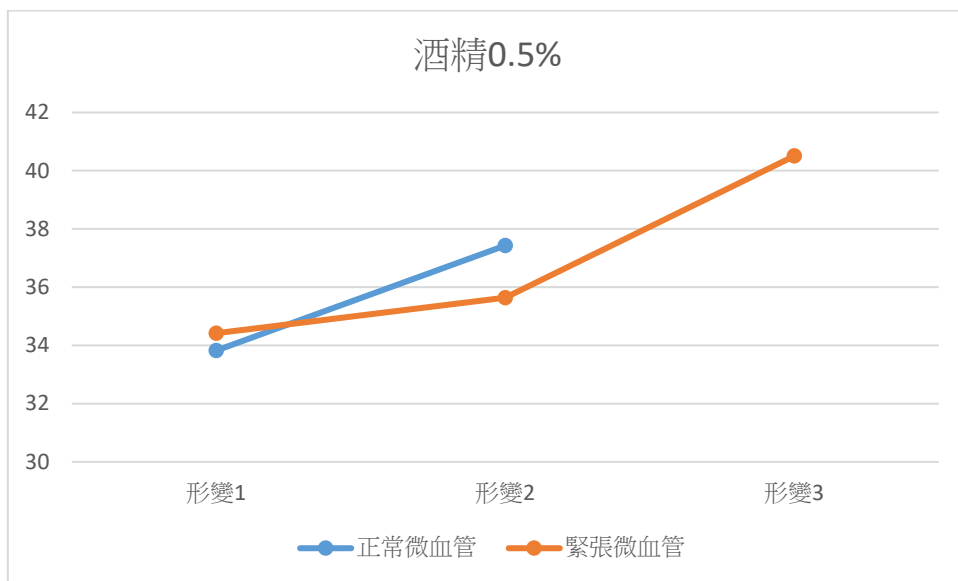
圖十七結果顯示，緊張微血管的速率與形變和「圖十六」極為相似，而正常微血管的變化較緊張微血管明顯。



圖十七、血液酒精濃度 0.03%時，正常微血管與緊張微血管之形變和運動速率

(三) 血液中酒精濃度 0.5%的細胞形變和運動速率

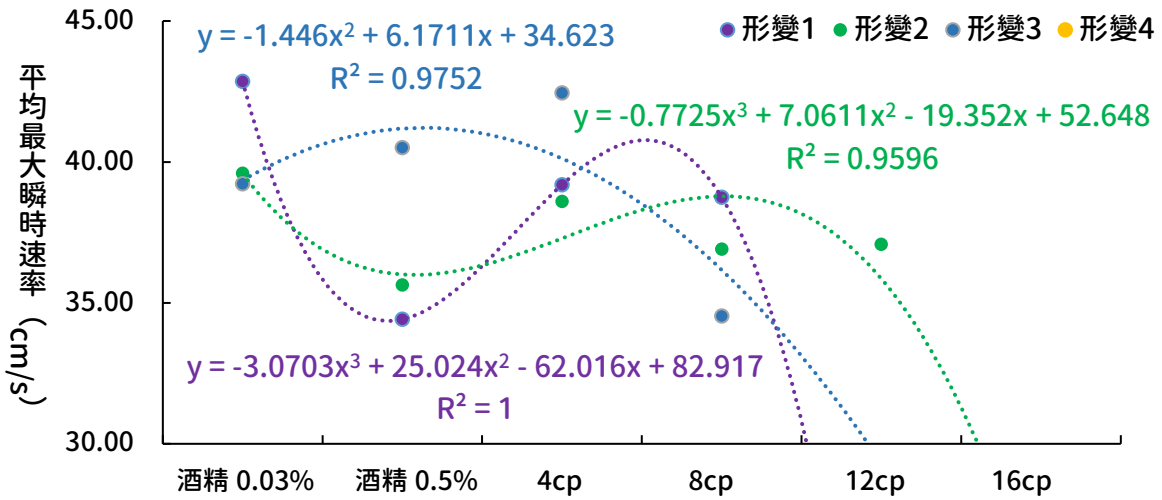
圖十八結果顯示，緊張微血管相較上述兩種血液情形，速率隨形變的變化程度明顯提升。



圖十八、血液酒精濃度 0.5%時，正常微血管與緊張微血管之形變和運動速率

十、探討緊張微血管搭配各種不同生理狀態，細胞的形變編號與平均最大瞬時速率和對應側截面積之數學關係。

圖十九結果顯示，形變 1 只出現在血液濃稠度不高狀況下，而形變 4 只出現在高濃稠度的血液下。

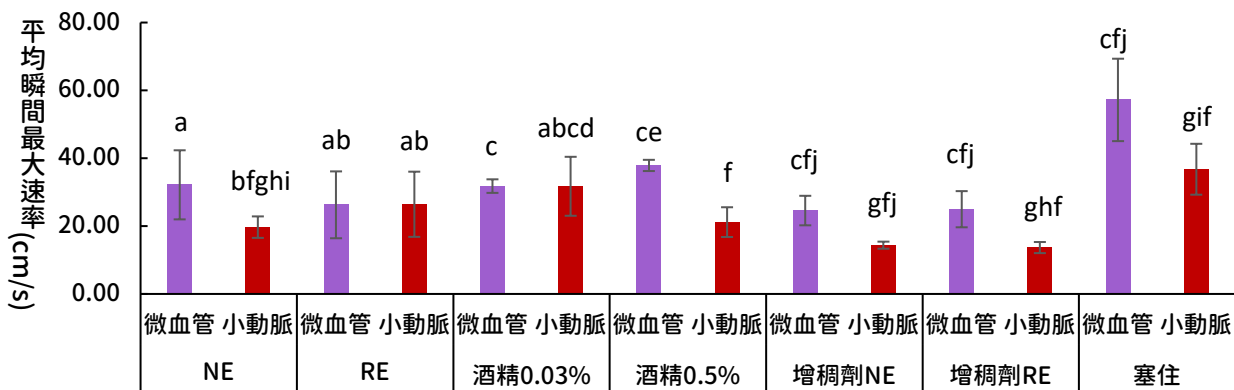


圖十九、建立不同生理狀態下的緊張微血管中，卵黃細胞形變編號與側截面積之模型

伍、討論

由圖六~九結果顯示，卵黃細胞於小動脈流動時，側截面積與平均最大瞬時速率皆呈現正相關。相對地，卵黃細胞於微血管流動時，僅在含有 0.5%酒精的狀況下，側截面積與平均最大瞬時速率才呈現正相關，代表人體正處於比表面積與流速，兩者間的平衡狀態。

過往研究指出「適量」飲酒可以增加血液中的高密度脂蛋白、減少低密度脂蛋白，進而可減少了由於脂肪沉積而引起的血管阻塞。雖適量飲酒似乎對血液循環有保護作用，但何謂「適量」，卻眾說紛紜！根據本研究圖十一的結果，血液中酒精濃度 0.03%時，卵黃細胞無論處於何種形變狀態，其對應側截面積差異不大，應該是有助於細胞流動的，故或許能作為適當飲酒的標準。



圖二十、實驗中各血管情境下卵黃細胞流動速率

在圖二十可以發現，當模擬血液具有酒精時，無論酒精濃度多少均會使卵黃細胞

的平均最大瞬時速率顯著高於正常情況下的 RE 組 ($p < 0.001$)。然而一般情況下，微血管是進行物質交換的地方，過快的血流速度是不利的；在本實驗中，馬達經由模擬血液傳遞能量對細胞作功，細胞亦對流體作功並同時受到流體施予的反作用力，故其前端截面積增加、側截面積減少而減緩流速。但由於酒精進入細胞後，會與細胞質作用產生微固化，進而細胞形變受限，導致形變失敗。另實驗過程中亦發現當細胞質微固化後，細胞失去形變可塑性後，細胞反而較容易破裂。

由圖十~十三的模擬結果可以發現形變 4 僅在血液濃稠度 $\geq 3.8 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 的情況下發生。此時血液阻力大，導致細胞流動速率變慢，然而循環系統中血液流動的動力來自於心臟收縮，倘若無其他心臟疾病，理論上心臟給予血液流動的動能應是穩定的，此時模擬血液中的卵黃細胞在遵守力學能守恆的條件與流體阻力的作用下，發生提高比表面積的變形，即為形變 4 的狀態。

隨著科技之發展日新月異，顯微鏡已非高不可攀的產品，甚至無須有任何特殊透鏡，僅用智慧型手機就可取代科學顯微鏡的功能。本實驗已成功建立細胞形變狀態與運動速率之模型（圖十~十三），期盼未來能取得人體紅血球在多種血液各種生理情況對應的血液下的攝影畫面，進一步套模，以評估其準確性。以圖十一所建立之微血管對應的側截面積建模為例，若欲得知其紅血球運動狀態下的血管內部遭遇何種各種生理情況對應的血液，則可利用血管觀測儀，取得紅血球運動畫面，藉由軟體判讀其形變編號，選擇適用的模型後，代入此時紅血球的運動速率，所得 x 即為血液各種生理情況對應的血液，當 $x=1$ 代表此時血液非處於各種生理情況對應的血液中； $x=2\sim3$ 代表此時血液中有酒精； $x=3$ 代表此時血液極度濃稠，有血栓的風險。

在本實驗中，因受限於器材與實驗操作，故此項模擬有其限制，以下列舉 5 項：

1. 因器材的限制，壓克力管沒有如血管般的彈性。在本實驗中，有提到人處於緊張狀態時的微血管會有輸入端變細，輸出端變粗的現象，對此，我們只能改變不同壓克力管的管徑來模擬，而無法做出有肌肉鬆緊程度不同所造成的改變。
2. 實驗中，為方便分析，再設計與組裝模擬系統時，都採用壓克力直管，沒有彎曲。雖與人體有差異，但在本實驗中，因目的僅為找出速率、截面積與形變的關係，故直管對流速造成的影響在速率中呈現，在形變與截面積上亦有對應的改變，故不影響趨勢的推估。
3. 實驗中為方便操作，只將管子橫放，而沒有討論直立的血管。而正常人體中，血管縱橫交錯，容易受到外在影響。如：地心引力……等。
4. 在小動脈模擬中，為了方便觀察與分析，我們一次只投入一顆卵黃，但在實際情形

中，紅血在小動脈中，單位時間截面積內，有不只一顆紅血球通過。

5. 馬達輸出血流與心臟搏動有差異，心臟的舒張與收縮，有不同的血壓對應，而馬達輸出的流量則固定。為改善此限制，我們嘗試撰寫程式設定一分鐘內輸出高低電位的次數來模擬心臟的搏動，但因馬達的開啟或關閉會延遲，而無法使其在單位時間內輸出與設定頻率相同的次數

陸、結論

- 一、側截面積與細胞前進方向前端之截面積呈負相關，細胞可藉由調節兩者，進而影響運動速率，以避免運動過程中破裂。
- 二、由實驗模擬得知，在正常微血管中，當血液中含有適量酒精（實驗中的 0.03%），會使血管中紅血球運動速率變快。
- 三、由實驗模擬得知，在緊張微血管中，當血液中含有酒精（0.5%）會使其較貼近正常情況。
- 四、由實驗模擬得知，當血液中酒精濃度增加，會固化細胞質，進而影響了細胞能動性。
- 五、由實驗模擬得知，當細胞流動受到阻力，微血管中之紅血球會調節其形變狀態，使比表面積上升，而動脈則相反。
- 六、當人體處於緊張狀態時，細胞流動的最大瞬時速率會隨血液濃稠度增加而愈往疏心臟端推移。
- 七、利用顯微鏡技術，蒐集細胞形變狀態與速率等參數，套用本研究模型可得知目前血管內部的血液濃稠狀態。

柒、參考文獻資料

- Jiliang Hu, Somaye Jafari, Yulong Han, Alan J. Grodzinsky, Shengqiang Cai, and Ming Guo (2017) Size-and speed-dependent mechanICAL behavior in living mammalian cytoplasm. Proceedings of the National Academy of Sciences, 114 (36), p.9529-9534.
- Sam Wood (2021) Research finally reveals ancient universal equation for the shape of an egg , From: https://blog.xuite.net/yahoo_32454/twblog/132639023
- Zuodong Chen, Tong Xing, Jiaolong Li, Lin Zhang, Yun Jiang, and Feng Gao (2022) Oxidative stress impairs the meat quality of broiler by damaging mitochondrial function, affecting calcium metabolism and leading to ferroptosis. Animal Bioscience 35 (10) : 1616–1627.
- 王昱力、葉昱陽、陳明展 (2013) 以模型實驗模擬血管繞道手術後之流場變化。第 53 屆中華民國科學展覽會高中組生物科作品說明書。
- 田始俊、何永、安康、楊俊華、陳勇 (2014) 一種快速溶解羧甲基纖維素鈉的方法。
- 作者不詳 (2019) 紅細胞。A+醫學百科。2022 年 10 月 1 日，取自：<http://cht.a-hospital.com/w/%E7%BA%A2%E7%BB%86%E8%83.4%9E>
- 吳明誠、曾博昶、黃資喻、張珮瑜 (2002) 酸鹼性、溫度對蛋的影響及應用。第 42 屆中華民國科學展覽會國中組生活與應用科學科作品說明書。
- 卓朕煒、張育睿、鄭牧庭 (2004) 神鬼奇航—海盜船對血液流動的影響。第 53 屆中華民國科學展覽會高中組物理科作品說明書。
- 林國源 (2004) 第一章數學建模概論。2022 年 9 月 10 日，取自：<https://ir.nctu.edu.tw/bitstream/11536/77889/6/351106.pdf>
- 陳宣瑜、劉兆真、許睿哲、邱彥仁 (2010) 鰭中有軌—改良課本「觀察小魚血液流動」實驗與發展測量血液流速方法。第 50 屆中華民國科學展覽會高中組生物科作品說明書。
- 陳順勝 (2011) 醫師看酒國春秋。陳教授部落格-從精神醫學到社會參與。2022 年 11 月 10 日，取自：https://blog.xuite.net/yahoo_32454/twblog/132639023
- 順億化工 (年份不詳) CMC 化學質與介紹。2022 年 10 月 13 日，取自：https://www.sese.tw/product?pid_for_show=3492
- 嘉誠化工 (2021) 水性增稠劑。嘉誠月刊，126 (7)。2022 年 10 月 10 日，取自：126-嘉誠月刊 2021 年 07 月_化粧品水性增稠劑.pdf
- 蔡柏彥、張逸銘、陳勁揚 (2011)。微管道之表面張力研究—幾種變因之探討。第 51 屆中華民國科學展覽會高中組物理科作品說明書。
- 鄭玉希 (2005)。由心血管超音波影像之動態分析研究主動脈硬化。2005 臺灣國際科展醫學與健康科學科作品說明書。
- 鄭玉希 (2007)。以彈性體模型評估心血管疾病之新方法初探。2007 臺灣國際科展工程學科作品說明書。[香港第 40 屆聯校科學展覽;赫伯特胡佛青年工程獎：第一名]

【評語】 030314

優點：

實驗以卵黃細胞為材料，分析影響細胞形變的因素，並模擬紅血球在不同環境下的流動表現。以不侵入傷害人體方式去探究人體紅血球在血管中移動的相關問題，主題新穎富創意，想以相似概念模型代替實驗。這可以吸引讀者對研究的興趣。學生成功對細胞運動表現進行詳細觀察和參數收集來建立模型，未來有助於瞭解細胞在不同情況下的行為特性。

建議及檢討：


1. 建議在實驗中加入描述研究目的的重要性。這可以解釋研究的動機和對相關領域的貢獻，強調研究的重要性和價值。
2. 在此報告中無法運用足夠文獻或前置實驗去支持紅血球與卵黃細胞在組成結構或型態的共通性，即進行後續的類推模擬，令人對於建模結果應用於未來之適用性會有所存疑。以卵黃細胞模擬紅血球的理由不夠充分，以透明直管模擬微血管以及小動脈的基礎亦不合理。

3. 涉及酒精濃度對細胞運動能動性的影響尚未完整釐清，需要設計後續研究來確定酒精對細胞的影響機制。

作品海報



以卵黃細胞模擬紅血球在血管中
之流動表現與潛在應用價值



摘要

本研究分別以常見的塑膠水管模擬小動脈及微血管、雞卵黃模擬人類紅血球，營造出**七種生理情況**，並觀測卵黃在這些狀況下的**細胞形狀**、**流動速率**及其**對應側截面積**等表現，藉此模擬紅血球在血管中的流動表現。七種生理情況分別模擬血液黏度4、8、12、16cP及血液黏度4cP時，分別含有酒精濃度0.03%、0.5%的環境，最後一種生理情況為16cP時以矽力康模擬環狀堵塞的環境。最終本研究建構出**卵黃形變狀態與流動速率之模型**，並發現卵黃會因流動速率的變化產生相對形變避免自身破裂；在正常微血管的模擬中，若管內液體含有0.03%的酒精，卵黃的流動速率會因此提高；在緊張型微血管的模擬中，若管內液體含有0.5%的酒精，卵黃的流動速率卻較接近正常情況的微血管。本研究也發現，模擬微血管中的卵黃若在流動時受到阻力，比表面積會增加，但在小動脈模擬中卻相反；另外，在模擬緊張型微血管時，隨著管內液體的黏度上升，卵黃出現最大瞬時速率的位置會離心臟越遠。

前言

本研究為了**建構人類紅血球運輸模型進行模擬實驗**，以放大版的血液流動模型開展操作。模擬心臟之馬達在單位時間內透過液體對卵黃作固定的功，此即卵黃的總力學能。在七種生理情況的模擬中，卵黃因為管內不同黏度的液體造成阻力而產生形變，本實驗視為卵黃表面彈力位能增加，並同時減少其流動速率（卵黃的動能轉為表面的彈力位能）。我們利用**Tracker**收集運動速率、**IC Measure**分析對應之截面積、**Teachable Machine**判斷形變，藉由以上參數找出速率與形變間的關係、卵黃流動速率對其截面積的影響，最後利用這些參數予以建模。透過**成功建立出卵黃形變狀態與流動速率之模型**，作為人類紅血球運輸模型的參考架構，提供未來在疾病預防有別於過往的新思維。

研究目的

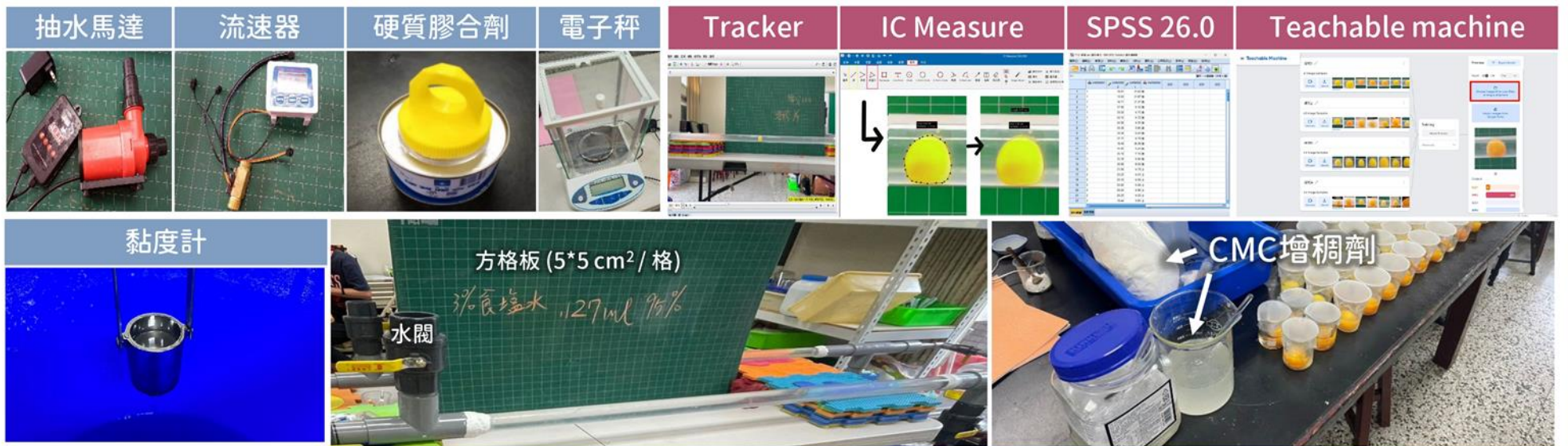
面對七種生理情況
卵黃流動表現

建構卵黃於管狀裝置之
形變與流動速率之模型

待答問題：

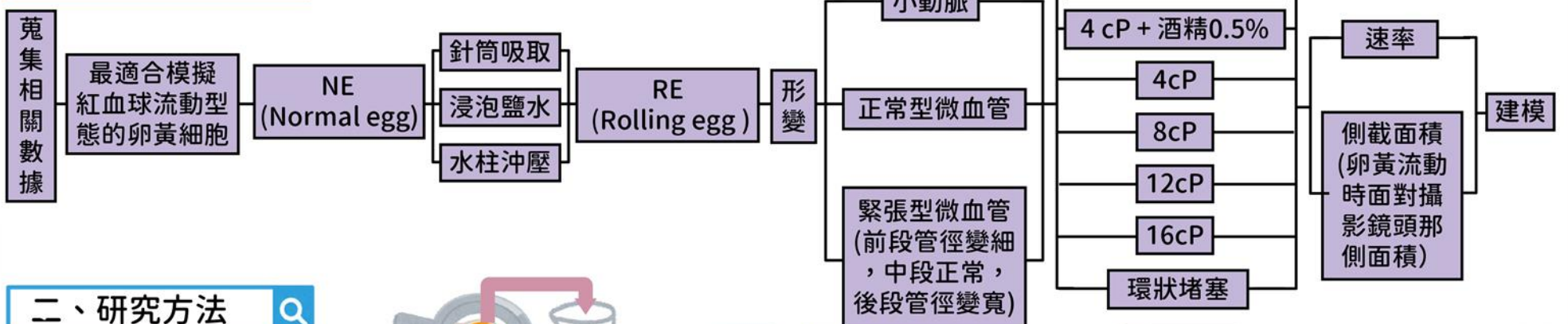
- 一、探討最適合模擬**紅血球流動型態**的卵黃細胞
- 二、探討卵黃產生**形變**的樣貌
- 三、探討卵黃在血管流動過程中**最大瞬時速率與形變**之關係
- 四、探討卵黃在血管流動過程中**平均最大瞬時速率與對應側截面積**之關係
- 五、比較卵黃在正常型微血管和緊張型微血管中的**形變與平均最大瞬時速率**之差異
- 六、建構卵黃在血管流動中之**平均最大瞬時速率和對應側截面積**之數學模式

研究設備及器材

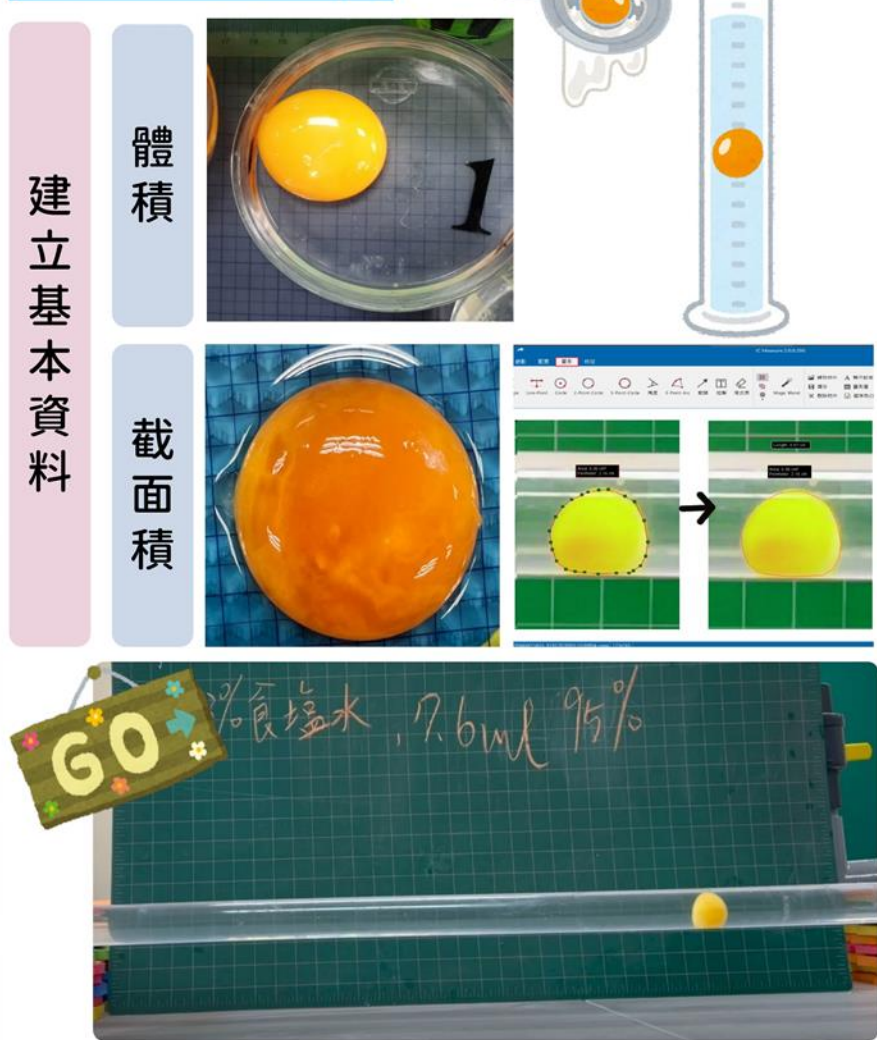


研究過程與方法

一、研究架構圖



二、研究方法



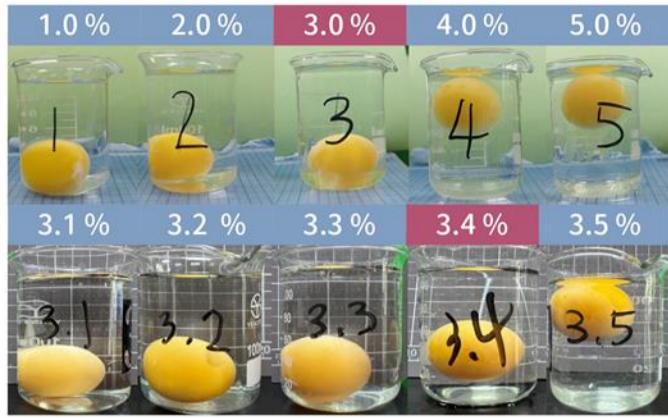
各形變狀態速率與其側截面積



研究結果

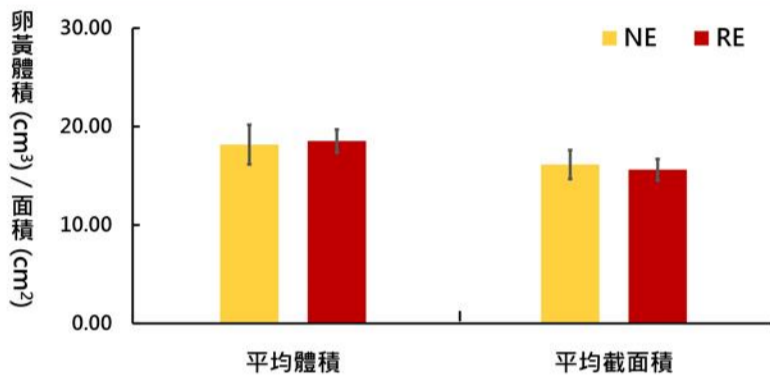
一、最適合模擬紅血球運輸型態的卵黃

1. 卵黃浸泡3.4%鹽水8小時後，置於管狀模擬裝置會如紅血球般轉動。



卵黃浸泡於一系列濃度食鹽水溶液

2. NE與RE無論截面積或體積均無顯著差異。



二、卵黃產生形變的樣貌

形狀編號	1	2	3	4
細胞樣貌名稱	近乎滿月型	80% 盈凸月型	60% 盈凸月型	弦月型
示意圖				
月相 (舉例)				
實際拍攝				

三、探討卵黃在血管流動過程中最大速率與形變程度之關係

對照組

NE			
形變編號	1	2	3
最大瞬時速率 (cm/s)	15.99±2.05	38.32±1.60	35.10±2.89
實際截面積 (cm²)	17.32±2.57	19.71±2.25	14.87±2.09
對應圖片			

血液黏度標準上限 (NE置入CMC增稠劑)			
形變編號	1	2	3
最大瞬時速率 (cm/s)	21.40±3.76	26.99±3.10	25.30±0.88
實際截面積 (cm²)	13.34±0.81	13.39±0.99	12.81±0.53
對應圖片			

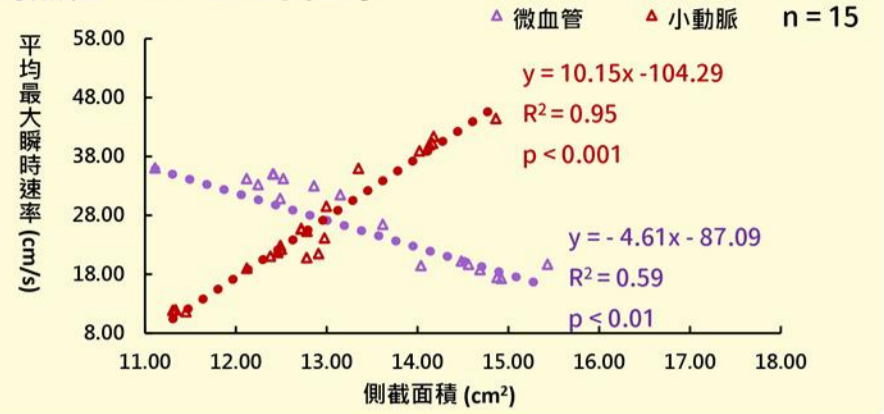
實驗組—正常微血管

RE置入生理食鹽水			
形變編號	1	2	3
最大瞬時速率 (cm/s)	36.83±4.26	34.87±2.04	36.60±1.33
實際截面積 (cm²)	14.52±1.13	13.91±1.77	14.35±1.68
對應圖片			

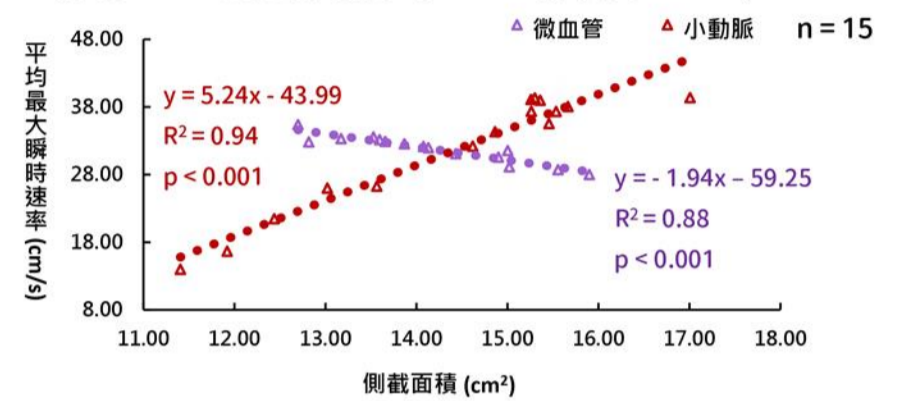
酒駕超標濃度 (酒精濃度 0.03%)			
形變編號	1	2	3
最大瞬時速率 (cm/s)	24.62±3.35	32.76±1.21	29.50±1.99
實際截面積 (cm²)	15.03±1.21	14.80±1.17	15.41±1.21
對應圖片			

四、探討卵黃在血管流動過程中平均最大瞬時速率與對應側截面積之關係

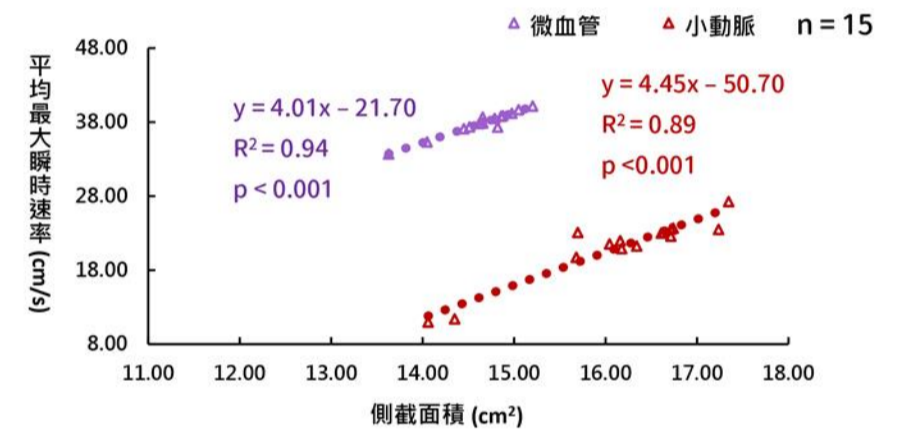
對照組：4cP 生理食鹽水



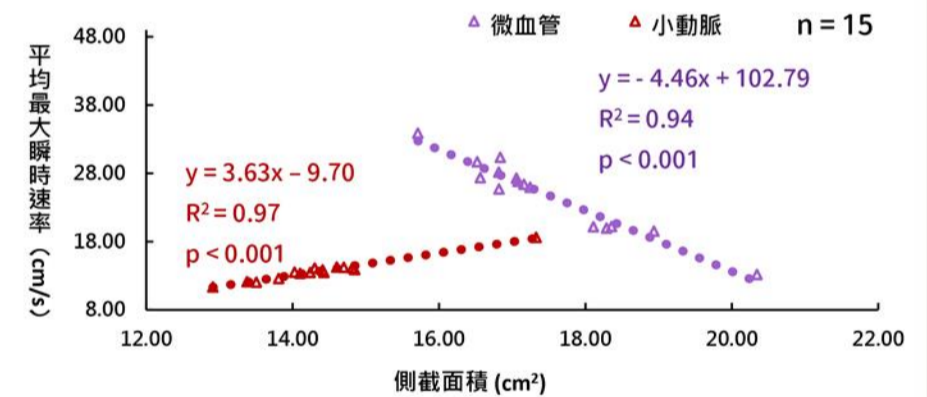
生理情況一：酒駕超標濃度 (4cP 酒精濃度 0.03%)



生理情況二：可承受的酒精量最大值 (4cP 酒精濃度 0.5%)



生理情況三：血液黏度標準上限 (CMC 增稠劑濃度 7.5%)



1. 卵黃於模擬小動脈裝置中流動時，無論何種生理狀況，其平均最大瞬時速率皆隨側截面積之增加而增加。
2. 卵黃於模擬微血管裝置中流動時之平均最大瞬時速率，除生理狀況二是隨側截面積之增加而增加，其餘皆隨側截面積之增加而降低。
3. 當有酒精或黏度增加時，卵黃側截面積變化程度較小。

實驗組—正常微血管

可承受的酒精量最大值 (酒精濃度 0.5%)				
形變編號	1	2	3	
最大瞬時速率 (cm/s)	17.74±0.38	37.73±1.82	22.99±0.68	
實際截面積 (cm²)	13.73±0.89	14.57±1.56	14.39±1.26	
對應圖片				

血液濃稠度標準上限 (RE置入CMC增稠劑 16cP)				
形變編號	1	2	3	4
最大瞬時速率 (cm/s)	25.34±2.44	27.28±1.51	21.02±1.13	16.56±1.61
實際截面積 (cm²)	14.29±0.99	17.07±0.52	17.21±1.45	16.19±1.40
對應圖片				

實驗組—緊張微血管

RE置入8cP				
形變編號	1	2	3	4
最大瞬時速率 (cm/s)	4.19±1.90	33.67±1.03	34.90±1.90	36.97±3.45
實際截面積 (cm²)	17.41±0.91	17.12±1.41	23.87±4.71	16.33±0.74
對應圖片				

酒駕超標濃度 (酒精濃度 0.03%)		
形變編號	1	2
最大瞬時速率 (cm/s)	41.82±2.10	39.71±3.29
實際截面積 (cm²)	14.91±1.27	15.85±1.32
對應圖片		

RE置入12cP			
形變編號	1	2	3
最大瞬時速率 (cm/s)	32.62±2.87	31.24±2.50	32.16±1.24
實際截面積 (cm²)	16.50±0.21	18.07±1.64	17.38±1.74
對應圖片			

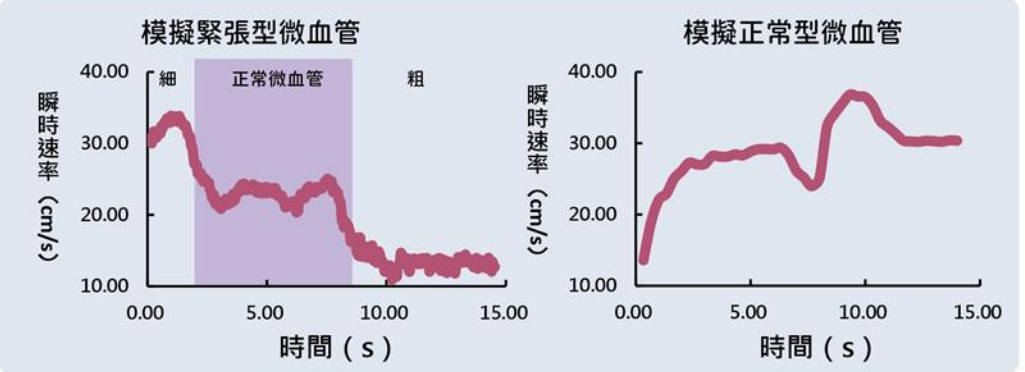
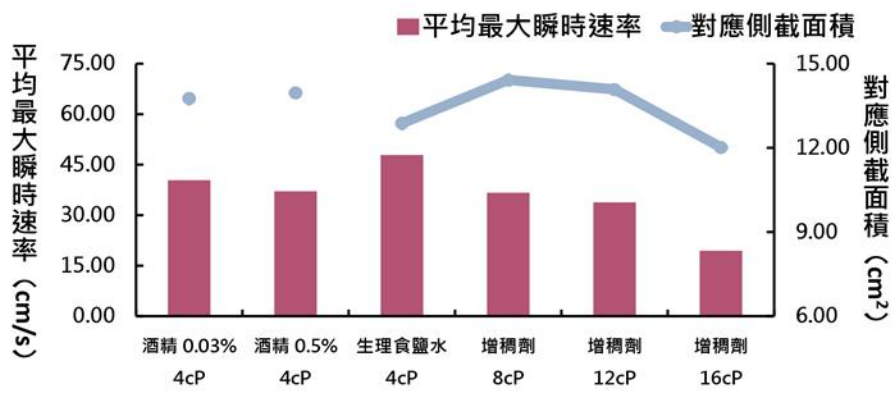
可承受的酒精量最大值 (酒精濃度 0.5%)		
形變編號	1	2
最大瞬時速率 (cm/s)	36.98±2.92	40.60±2.28
實際截面積 (cm²)	16.96±1.35	14.95±0.77
對應圖片		



五、比較卵黃在正常微血管和緊張型微血管中的形變與平均最大瞬時速率之差異

當血液黏度處於8cP和12cP時，其卵黃平均最大瞬時速率的對應側截面積大小差異不大。

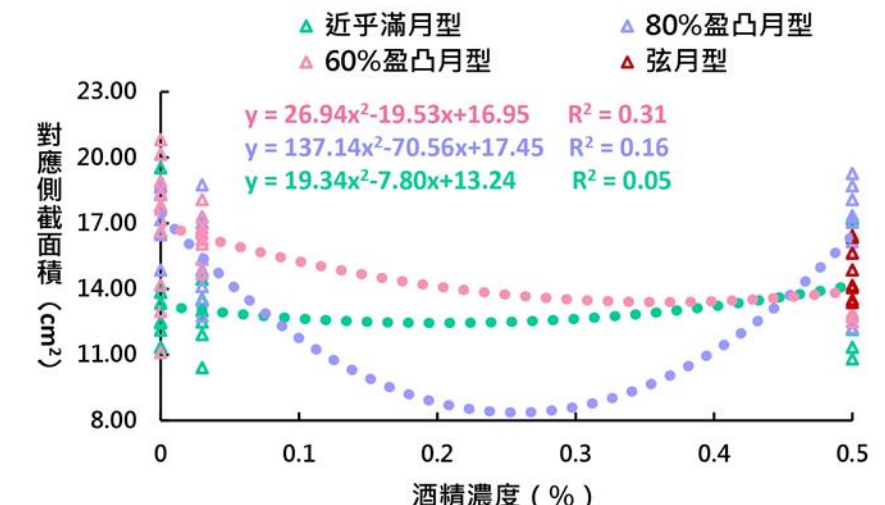
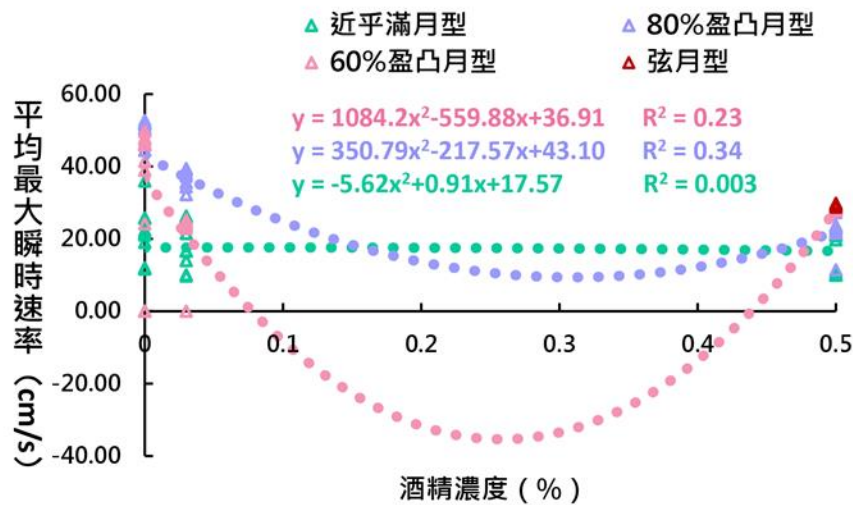
由V-T圖可得此卵黃最大瞬時速率發生的位置在細微血管與正常微血管的連接處。當血液黏度↑，最大瞬時速率位置往疏心臟端推移。



六、建構卵黃在血管流動中之平均最大瞬時速率和對應側截面積之數學模式

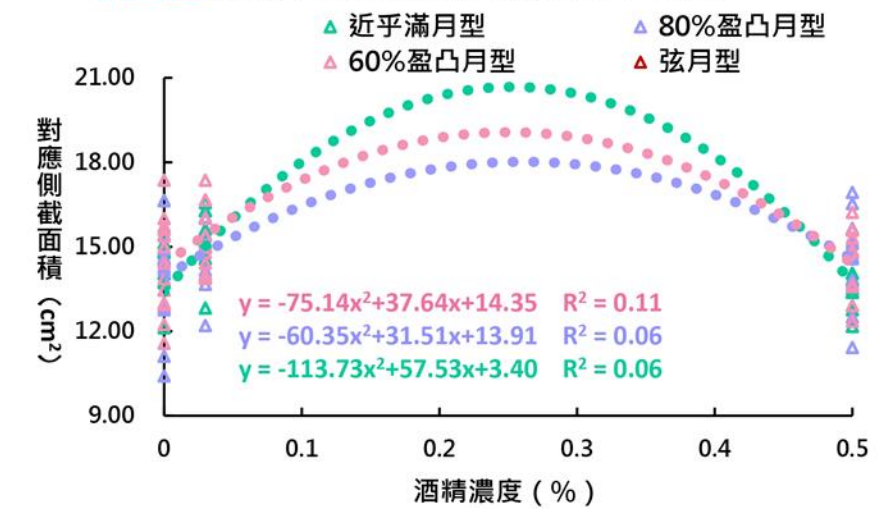
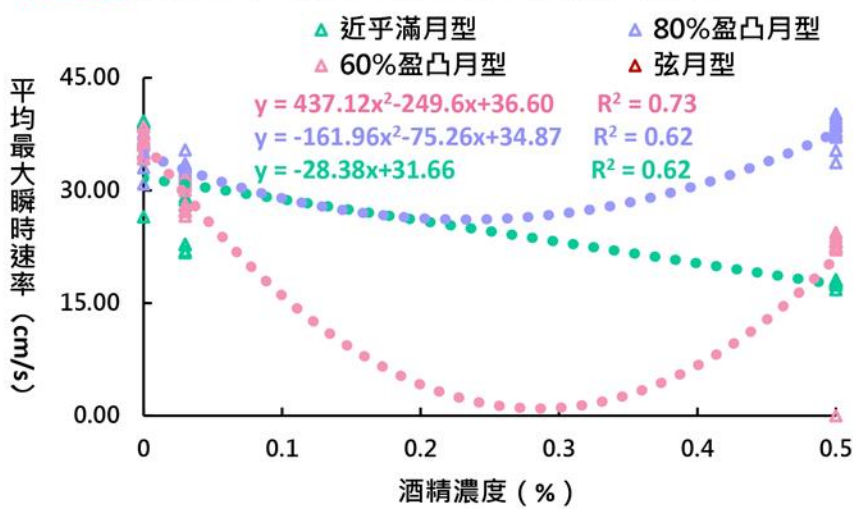
(一) 建構卵黃在不同酒精濃度之生理情況下之小動脈流動中平均最大瞬時速率之數學模式

(二) 建構卵黃在不同酒精濃度之生理情況下之小動脈流動中對應側截面積之數學模式



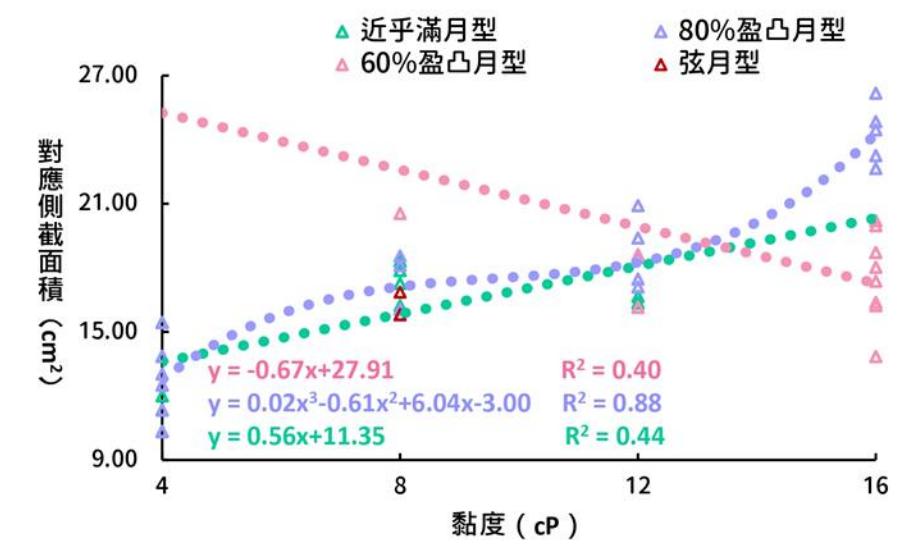
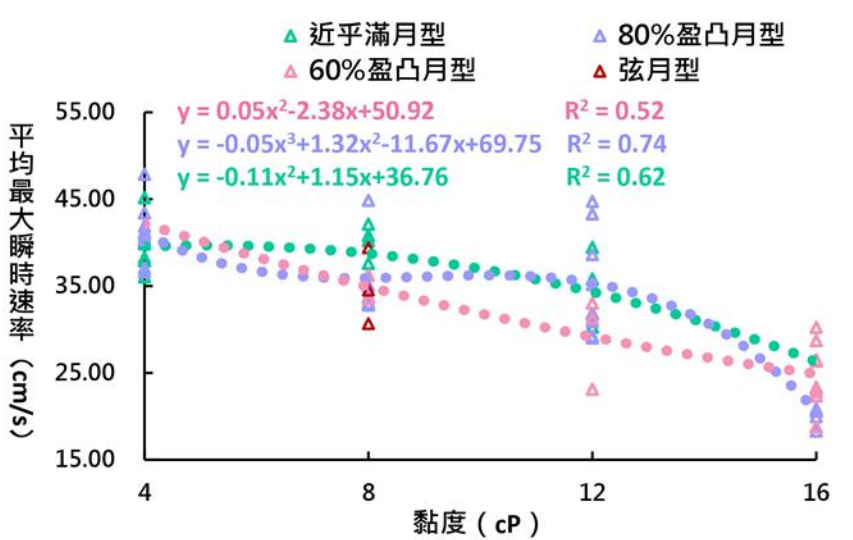
(三) 建構卵黃在不同酒精濃度之生理情況下之正常型微血管流動中平均最大瞬時速率之數學模式

(四) 建構卵黃在不同酒精濃度之生理情況下之正常型微血管流動中對應側截面積之數學模式

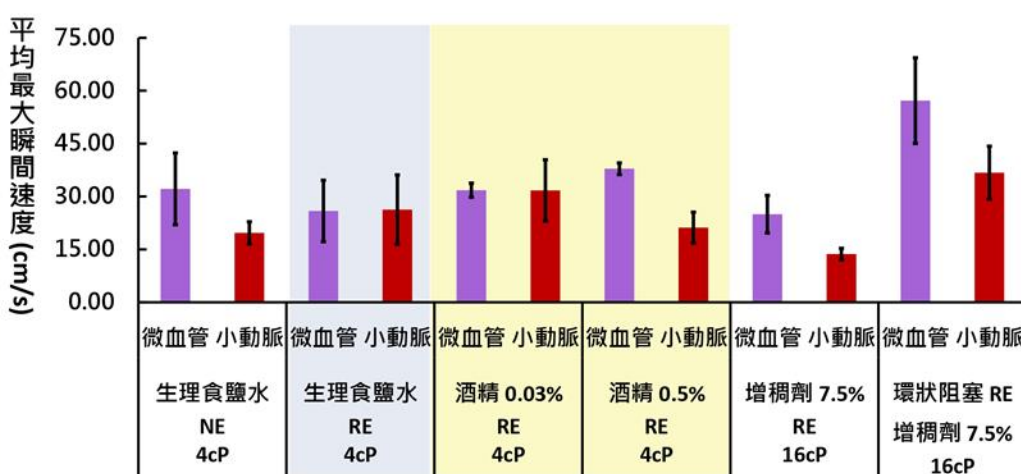


(五) 建構卵黃在四種血液黏度之生理情況下之緊張型微血管流動中平均最大瞬時速率之數學模式

(六) 建構卵黃在四種血液黏度之生理情況下之緊張型微血管流動中對應側截面積之數學模式



討論



1. 模擬微血管中若有酒精，卵黃的平均最大瞬時速率顯著高於對照組。
2. 由於此時卵黃流動時，受到阻力與黏滯力，故卵黃會產生形變，側截面積↓，前進方向截面積↑，導致流動速率減緩。
3. 酒精進入細胞，固化細胞質，影響能動性導致卵黃形變失敗，因此在含有酒精的生理情況下以側截面積建模，還需要其他生理參數配合佐證。

結論

1. 卵黃受流體推力與黏度影響其流動速率，進而產生形變，以避免流動過程中破裂。
2. 在模擬正常型微血管中，當血液含有酒精，會使微血管中卵黃流動速率變快。
3. 在模擬緊張型微血管中，形變4出現在黏度8cP時；在更高的黏度中，受到末段管徑變粗的影響，形變4無法出現。
4. 當卵黃流動受到阻力，模擬微血管中之卵黃會改變其形態，使比表面積變大，而動脈則相反。
5. 當模擬微血管在緊張狀態時，卵黃流動的最大瞬時速率發生位置會隨血液黏度增加而愈往疏心臟端推移。

應用

在本次實驗結果中，我們成功建出卵黃流動模型，證明建模的可行性，並從卵黃的平均最大瞬時速率和對應側截面積迴歸關係中，發現此模擬系統似乎可說明人類在過量飲酒時的紅血球表現，及高血壓、動脈硬化等生理情況。未來也可以將血流觀測儀做成行動裝置，來隨時觀測生理狀況，達成提早發現疾病，避免惡化的作用。