

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 物理科

佳作

030107

第四個傻瓜

—電影「Three idiots」中尿液觸電之真偽

學校名稱：桃園縣立新明國民中學

作者：  國三 曾大諦  國二 江 翎  國三 王致程	指導老師：  葉一賢  姚健文
---	-----------------------------

關鍵詞：觸電、尿液

## 摘要

電影「Three idiots」中，尿液觸電情節引起我們的興趣，尿在通電的湯匙上，真的會觸電嗎？

人體電阻值差異很大，潮濕時電阻值會降低很多，增加觸電的危險。尿液電阻的個別差異也很大，但**尿液柱長度愈長、愈細，則電阻愈大，而流動的尿液電阻變小。**

DC110V 時，尿液柱在 3cm 內電流達 70mA 以上；AC220V 時，距離 15cm 以內可達到 10mA，皆能造成危險，**而要達到這樣的電流值的條件與電極材質或溶液樣本均無明顯相關。尿液是否導致觸電的主因與「電極的距離」和「尿液柱是否分散」有關**；當尿液柱集中無分散時，AC220V 時，在 10cm 遠處可測得 60mA 以上的電流，而 150cm 遠處都還可以測得微小電流。

電影情節中，尿液觸電真實發生機率很低，除非電壓極高，尿液柱集中且與通電湯匙距離很近，才有可能發生。

## 壹、研究動機

最近，有一部熱門的印度電影「Three idiots」。片中，讓我們感興趣的是：男主角將電線纏繞在湯匙上，在學長小便時，使其通電(電壓 230V)，讓原本想霸凌學弟的學長痛得在地上打滾。雖然尿液是電解質，但是，尿在通電的湯匙上，真的會觸電嗎？

查資料，「流言終結者」節目中的兩位主持人，曾在假人身上裝上電子膀胱，在通電的鐵軌上小便(電壓 650V)，測試結果：假人平安無事，代替心臟的繼電器並未跳開；也有新聞報導，有人在高壓電上小便，結果不幸被電死。兩種不同的結果，使我們更加疑惑。

根據資料，直流電通過人體的電流在 10mA 以上，即有觸電的危險，超過 70mA 更是有致死的可能；60Hz 的交流電只需 10mA 以上即有致命的危險。為了一探尿液觸電的真實性，我們設計了這個實驗，從測量人體電阻開始，對尿液電阻、流速等，以及電壓大小、直/交流電等項目進行實驗，希望能發掘出尿液觸電的真相。

## 貳、研究目的

- 一、探討人體電阻
- 二、探討尿液電阻
- 三、探討尿液的流量與流速
- 四、探討在直流電壓下，尿液的導電性
- 伍、探討在交流電壓下，尿液的導電性

## 參、研究設備及器材

三用電錶、電源供應器、自耦變壓器、照相機、電腦、驗電筆、數位電錶、量筒、燒杯、玻璃棒、碼錶、鱷魚夾電線、透明塑膠管(2分)、細透明塑膠管(點滴管)、餵食袋、尿液蒸餾水、橡膠手套、絕緣墊、掛鉤、滴定管架、標籤紙、水槽、滴管、注射針筒、尺、刮勺、絕緣膠帶、透明膠帶、橡膠版、電子天平、秤量紙、食鹽、漏斗、延長線、塑膠長尺(30cm)、木頭長尺(100cm)、麥克筆、剪刀、氣球、刷子、清潔劑、洗手乳、銅片、鋅片、湯匙、。

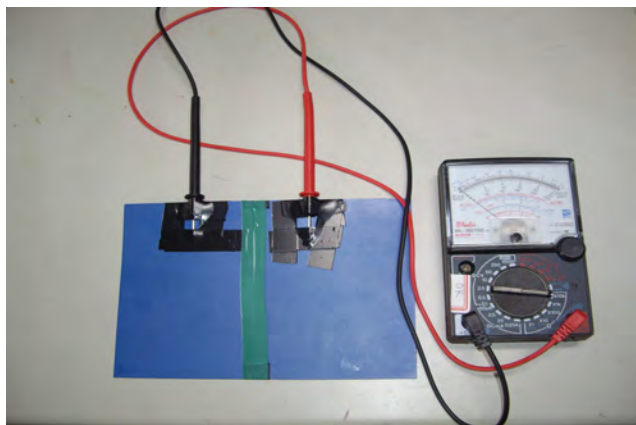
## 肆、 研究過程與方法

### <實驗一>測量人體電阻

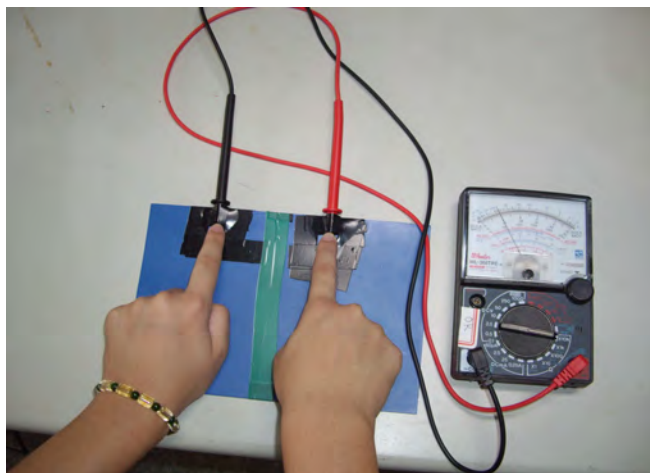
一、1 將三用電錶打到測電阻檔，將兩探針相碰，若指針未歸零，則調整歸零鈕使其歸零。



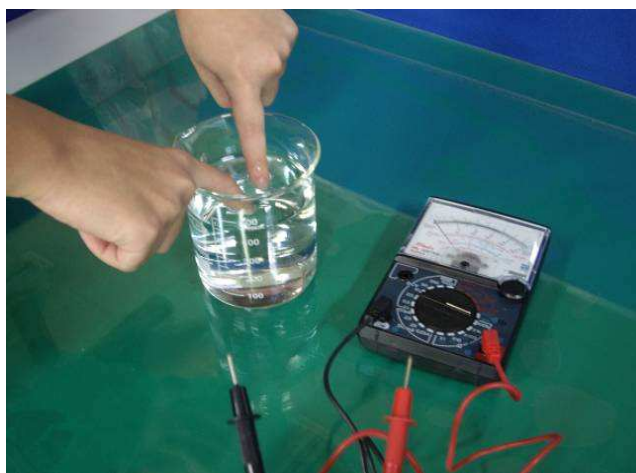
一、2 將兩探針固定在橡膠版上。  
(測試對象：國中生和國小一年級學生，且男、女生電阻值分別記錄。)



一、3 將左、右手的食指在紙巾上擦乾後，輕碰版上的探針，讀出電阻值並記錄。



一、4 將手指沾濕，拿出後甩兩下，再重複步驟一、3。



### <實驗二>測量尿液電阻

二、1 準備兩種粗細不同的透明塑膠管，並將它們每隔 5cm 作一記號，由 5cm 到 150cm 為止，剪下 150cm 長的塑膠管備用。



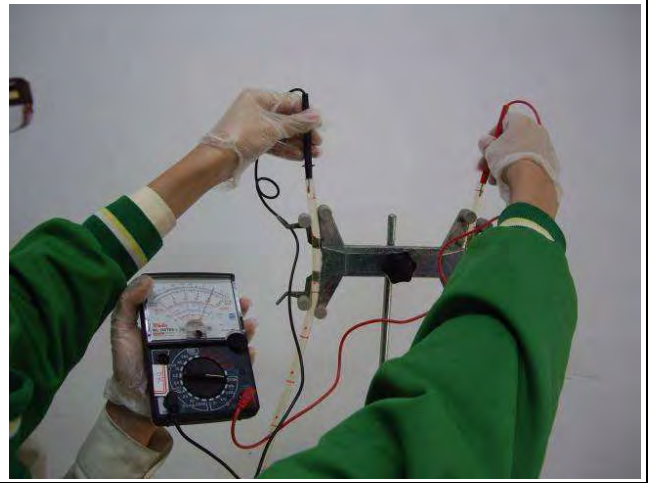
二、2 將 150cm 長的透明塑膠管兩端分別固定在滴定管架的兩端，小心調整使塑膠管兩端開口位在同一水平高度。



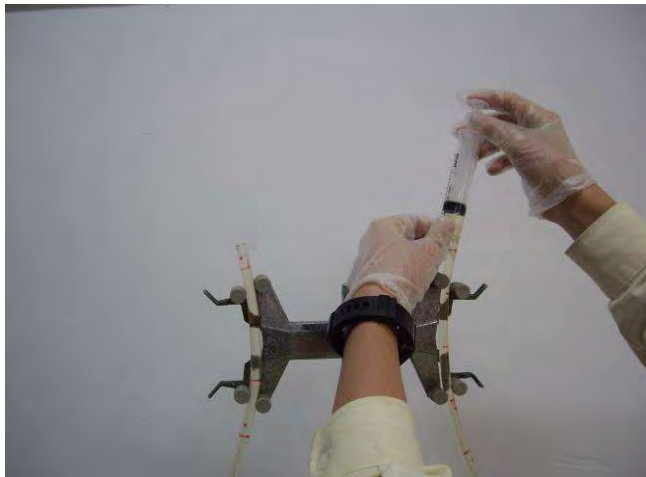
二、3 戴上塑膠手套後，在塑膠管一端套上漏斗，並小心將尿液倒入。當塑膠管內倒滿尿液後，移走漏斗。



二、4 將三用電錶打到測電阻檔，歸零後，再將探針兩端分別放入管口的尿液中，測量電阻值，並記錄。



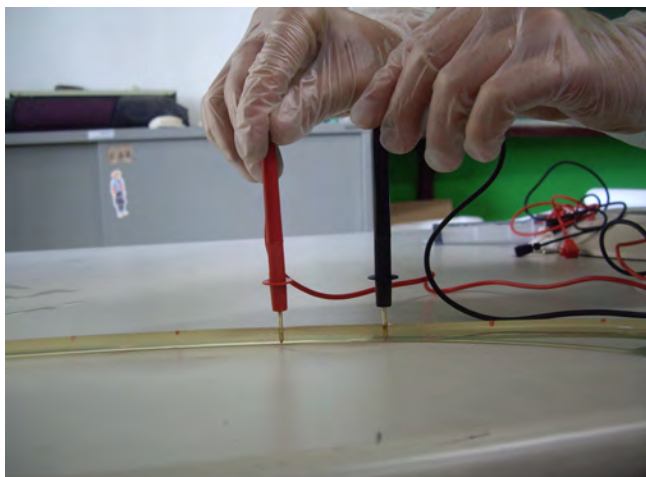
二、5 用注射針筒將一部分尿液抽出，使兩端尿液都下降 5cm 後，用剪刀將塑膠水管兩端各剪掉 5cm，重複步驟二、4，直到管長剩 10cm 為止。



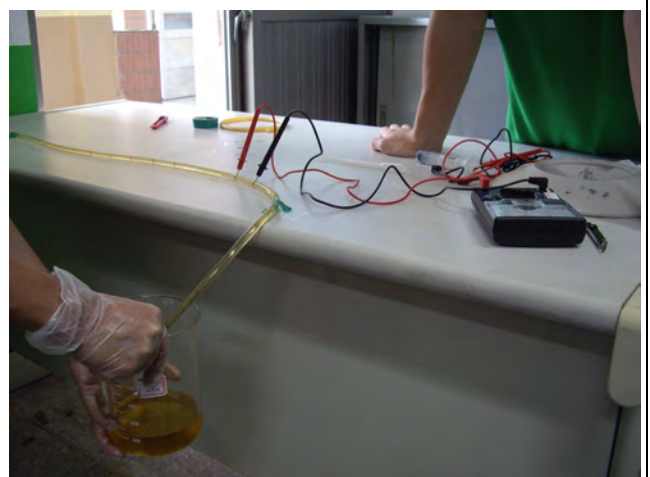
二、6 改換細塑膠管，重複步驟二、2~步驟二、5。再更換不同的尿液樣本，重複步驟二、2~步驟二、6



二、7 另取一段塑膠管，每 5cm 作一記號，將兩探針刺入。



二、8。餵食袋裝入尿液並掛高，打開出水口，讓尿液在管中流動，測電阻。改變流速、和兩探針的間距，重複測電阻。



### <實驗三>測量尿液的流量與流速

三、1 準備大燒杯、量筒、空容器和碼錶。



三、2 將每次排尿量收集在大燒杯中，再用量筒測量後倒入空瓶中，記錄每次的排尿量和每次排尿所需的時間，並計算流速後加以記錄。



三、3 嘗試用大、小不同的氣球灌水，模擬膀胱排尿，並試著控制流速。



三、4 嘗試用大、小不同的注射針筒吸水，模擬膀胱排尿，並試著控制流速。



三、5 嘗試用餵食袋裝水，掛在牆上，調整高度和裝水的容量，模擬膀胱排尿。



三、6 在餵食袋內放入約 500mL 的水，下方開關全開，用燒杯接水計時 30 秒，再將燒杯中的水倒入量筒中測水量，並計算流速。



<實驗四>測量在直流電壓下，尿液的導電性

四、1 校內的直流電源供應器，當轉鈕打在 6V 時，用數位電錶測得的卻是 8.64V。所以每一檔輸出電壓均經過校正。



四、2 因為校內的直流電源供應器，每一台最大輸出約 24V，不足以提供我們所需的電壓值，故試著用多台串聯，並用數位電錶校正。



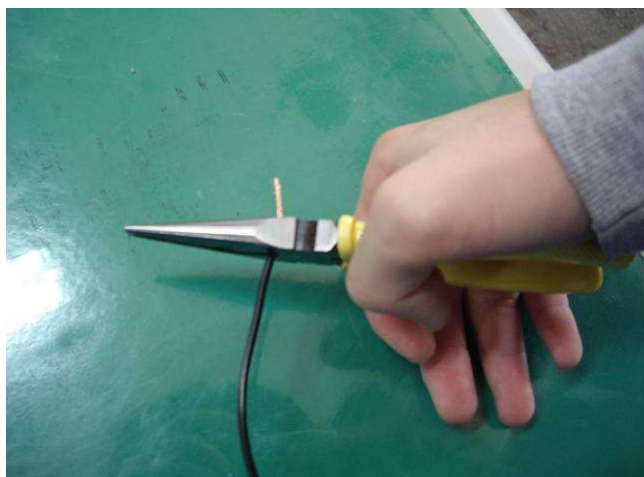
四、3 測量好高度後，在牆上適當的位置黏上掛鉤，以懸掛餵食袋。



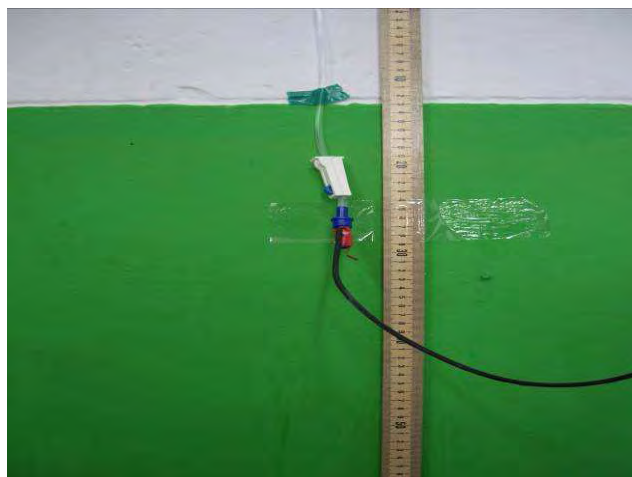
四、4 取全新的銅片，用鱷魚夾夾緊，並用膠帶固定在木頭長尺上。另一端鱷魚夾接在電源的正極。



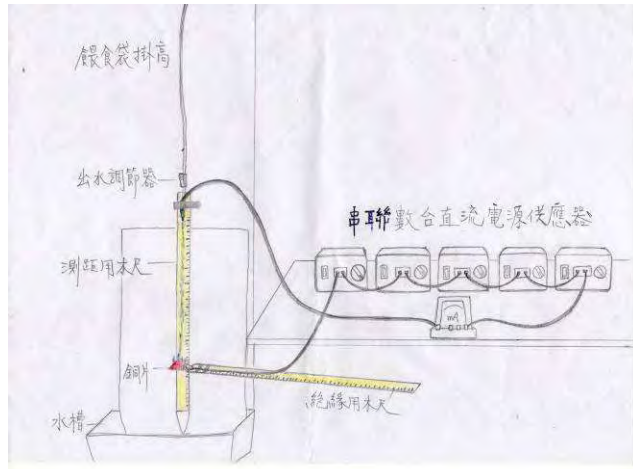
四、5 將電線前端的漆包線剪除適當長度，露出裡面的銅線。



四、6 在餵食袋長管出口端，用絕緣膠帶把步驟四、5 處理的銅線纏緊在出口處。



四、7 接線裝置如下圖。



四、8 操作人員戴上橡膠手套，並踩在絕緣墊上。將四、4 中的銅片裝置放在出水口下端。



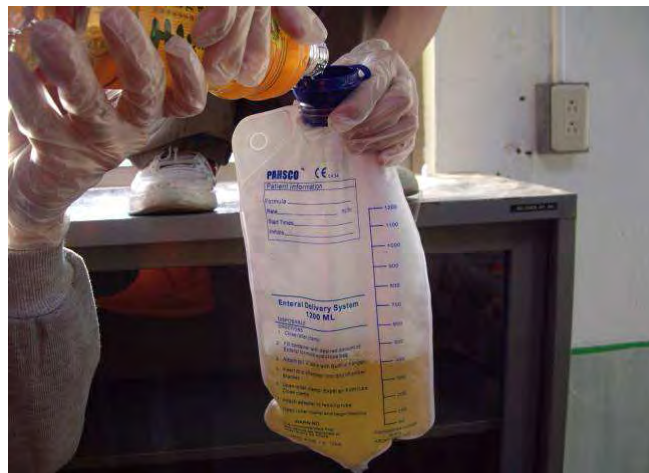
四、9 將餵食袋掛高，每次袋內放入約 500mL 的食鹽水（濃度 1%）每輸出一個電壓值，就將銅片逐漸移離出水口，並每隔 1cm 測量一個相對應的電流值。



四、10 將銅片由出水口逐漸移離時，對照牆上的長尺每隔 1cm、1cm 小心的向下移動。（要特別注意不要將銅片接觸到管口的銅線，否則會短路。）



四、11 餵食袋內改放入約 500mL 的尿液樣本，重複步驟四、9 測量相對應的電流值。



四、12 每次更換新的尿液樣本時，都必須先將餵食袋及水槽清洗乾淨，再填充新樣本。



<實驗五>測量在交流電壓下，尿液的導電性

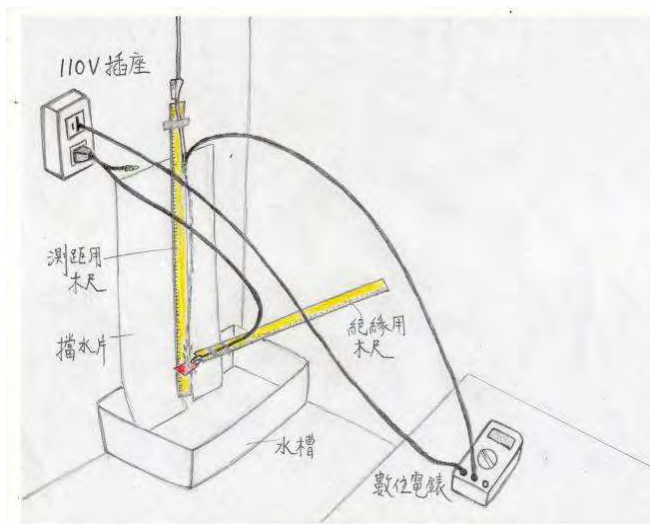
五、1 用驗電筆檢驗牆上的兩孔插座，確認短縫的插孔為火線，長縫的插孔為地線。



五、2 取一條延長線剪掉插座部份，再將兩條銅線分開，並剪掉其中一條銅線，剪斷處用絕緣膠帶纏好。



五、3 接線裝置如下圖。



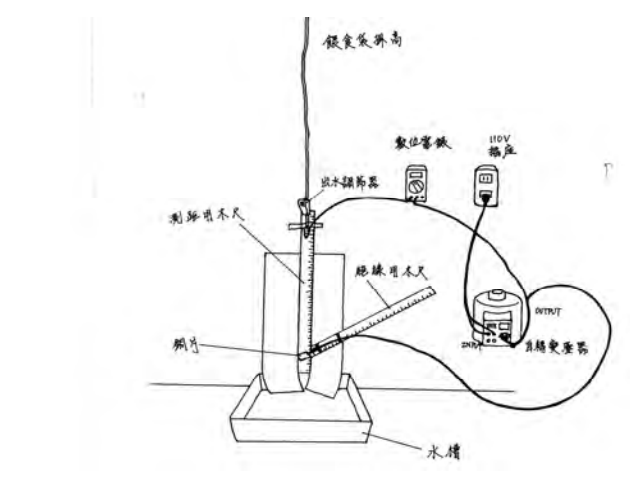
五、4 餵食袋內裝食鹽水或尿液，在 AC110V 下，操作步驟四、8~四、12。再將餵食袋改掛不同高度，改變流速，重複操作測電流。



五、5 校準自耦變壓器。



五、6 接線裝置如下圖。

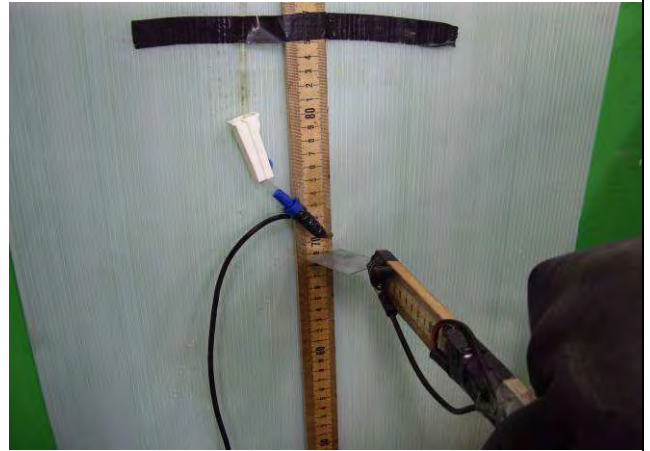




五、7 餵食袋裝鹽水或尿液後掛高，在不同電壓下（20V、40V……220V），重複操作步驟四、8~四、12。



五、8 將長尺前端的銅片改換為**鋅片**，餵食袋掛高，分別裝食鹽水或尿液樣本，在 **AC110V、220V** 下，測量相對應的電流值。



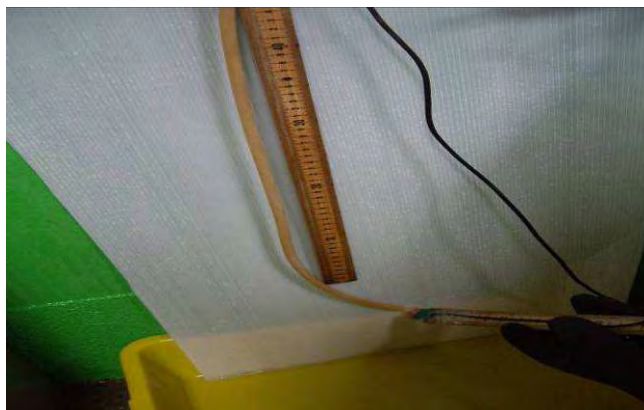
五、9 將長尺前端的鋅片改換為**湯匙**，餵食袋掛高，分別裝食鹽水或尿液樣本，在 **AC220V** 下，測量相對應的電流值。



五、10 在餵食袋長管出水口處，除了纏上裸露的銅線外，再套上 **150cm 長的橡皮管**，餵食袋分別裝食鹽水或尿液，在 **AC220V** 下，測量管口的電流值。



五、11 重複步驟五、10，**150cm 長的橡皮管**每隔 **10cm** 剪掉一段，分別測量 140cm、130cm、120cm……直到 10cm 時，各管口的電流值。



五、12 將長尺前端的銅片改換為**鋅片**或**湯匙**，重複步驟五、10~五、11，直到橡皮管長剩下 10cm 為止。



## 伍、 研究結果

### 一、 人體電阻測量

#### (一)國中男女生與國小一年級男女生電阻值

##### 1. 實驗結果:

表 1-1

年齡與性別	國中男生 (104 人)		國中女生(104 人)	
項目	兩手指乾燥	兩手指潮濕	兩手指乾燥	兩手指潮濕
平均電阻值(K $\Omega$ )	735.3	158.0	857.2	174.3
年齡與性別	小一男生(137 人)		小一女生(127 人)	
項目	兩手指乾燥	兩手指潮濕	兩手指乾燥	兩手指潮濕
平均電阻值(K $\Omega$ )	342.3	110.8	499.9	138.6

圖 1-1

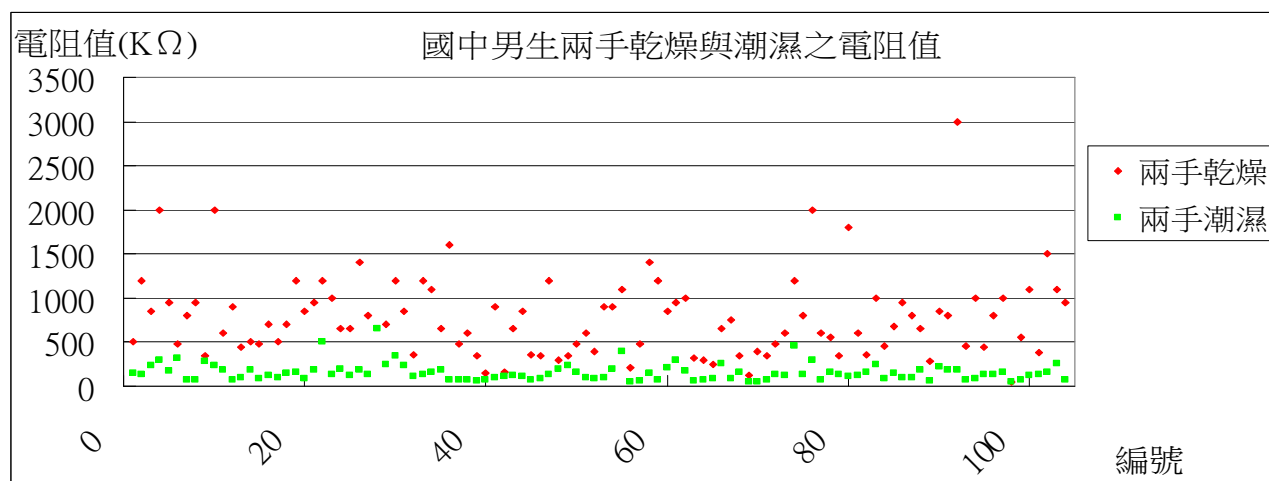
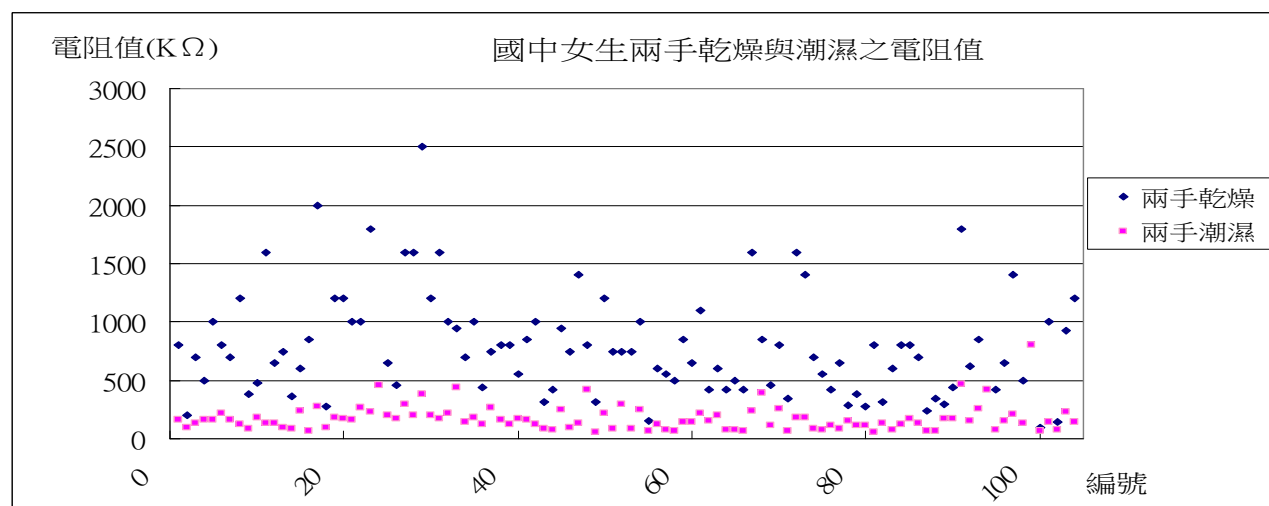


圖 1-2



由表 1-1 及圖 1-1~1-2 可得知國中男女生兩手乾燥時電阻值均大於潮濕時，兩者差距約 5 倍。

2.國中學生電阻值區域人數統計表

表 1-2

電阻值(KΩ)	男生兩手指乾燥	女生兩手指乾燥	電阻值(KΩ)	男生兩手指潮濕	女生兩手指潮濕
	人數統計(人)	人數統計(人)		人數統計	人數統計
<101	1	1	51 以下	1	0
101~501	35	31	51~101	37	29
501~1001	46	49	101~151	25	26
1001~1501	15	10	151~201	21	23
1501~2001	5	9	201~251	8	11
2001~2501	0	1	251~301	6	7
2501~3001	1	0	301~351	2	0
3001~3501	0	0	351~401	1	2
3501~4001	2	4	401 以上	3	6
合計	104	104	合計	104	104

圖 1-3

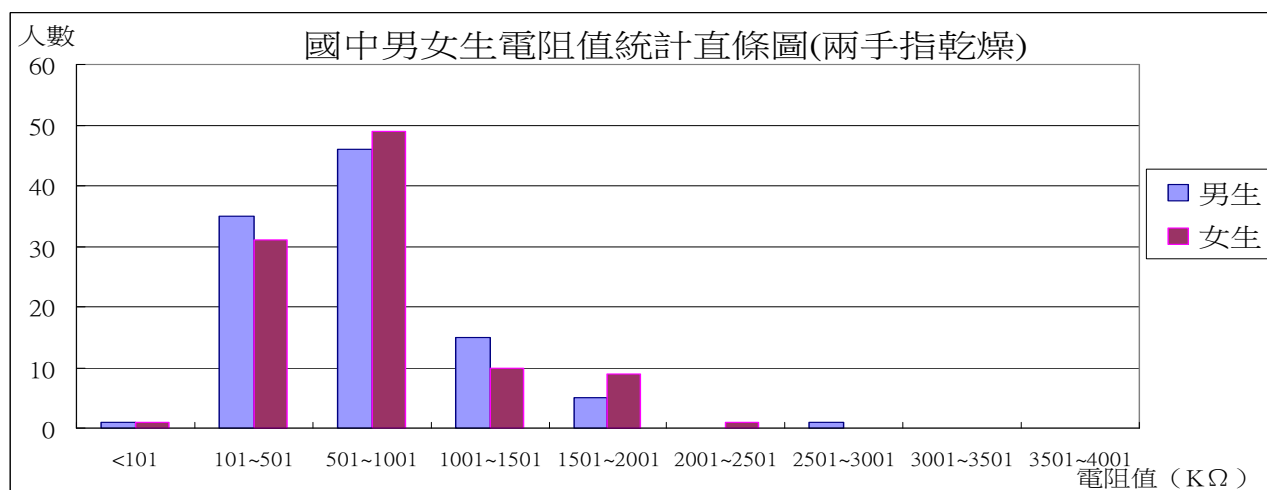
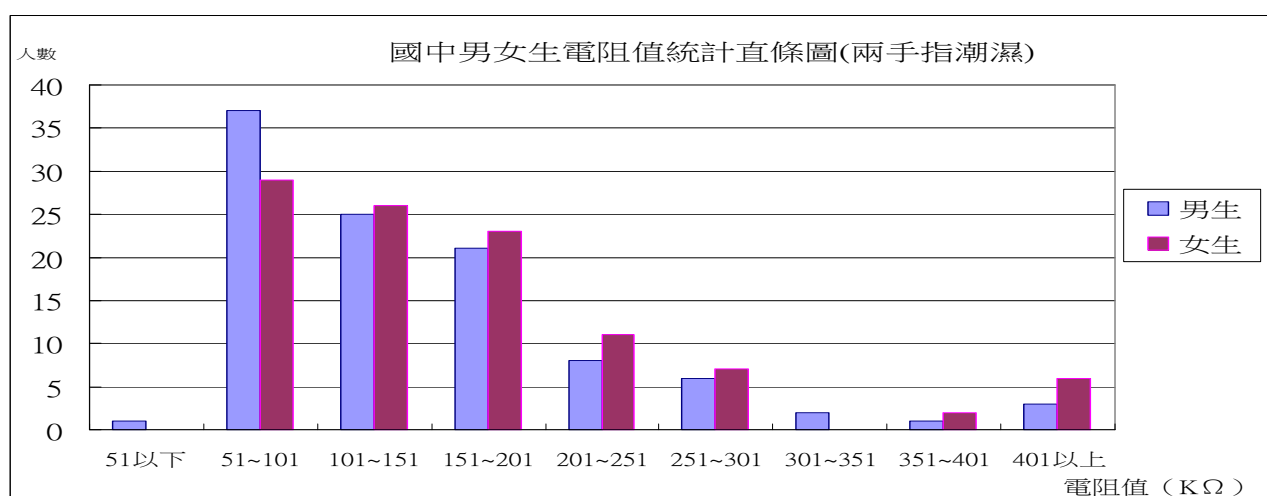


圖 1-4



由表 1-2 可知不論兩手指乾燥與兩手指潮濕時，國中女生電阻值都略大於國中男生的電阻值。

3.小一學生電阻值區域人數統計表

表 1-3

電阻值(KΩ)	男生兩手指乾燥	女生兩手指乾燥	電阻值(KΩ)	男生兩手指潮濕	女生兩手指潮濕
	人數統計(人)	人數統計(人)		人數統計	人數統計
<100	7	6	51 以下	21	11
100~501	106	96	51~101	72	69
501~1001	24	15	101~151	23	18
1001~1501	0	3	151~201	12	14
1501~2001	0	3	201~251	2	3
2001~2501	0	1	251~301	3	4
2501~3001	0	1	301~351	0	0
3001~3501	0	0	351~401	0	1
>3501	0	2	401 以上	4	7
總計	137	127	總計	137	127

圖 1-6

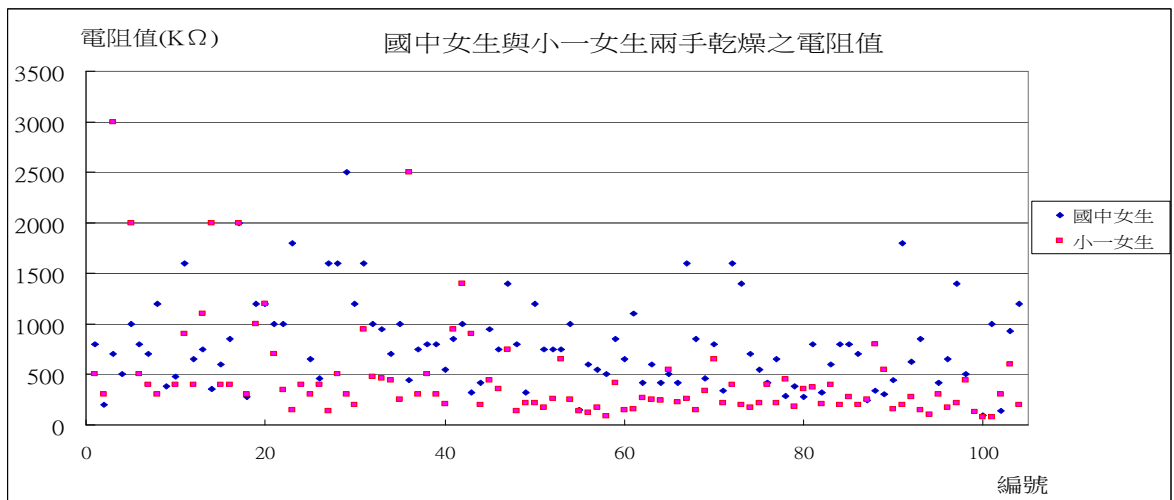
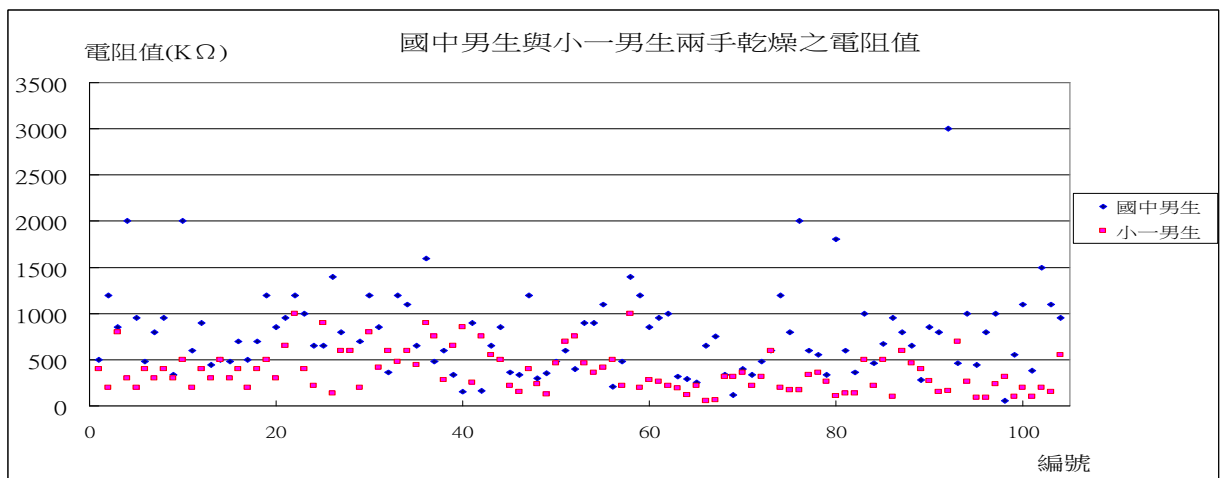


圖 1-7



由

表 1-3 圖 1-6、圖 1-7 可以看出國中生電阻值大於小一學生，年紀較小的人電阻較小。

## 二、尿液電阻測量

### (一)、實驗:測量尿液樣本電阻值(KΩ) 圖 2-1

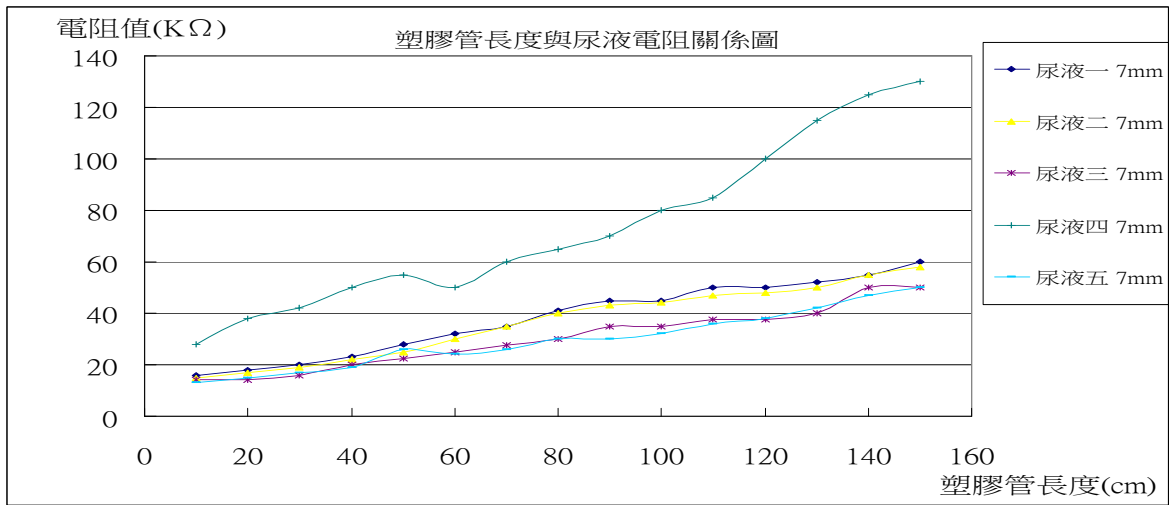


圖 2-1 可以看出五種尿液樣本的電阻值個別差異很大，但不論何種尿液樣本，塑膠管長度越長(即尿液柱愈長)，尿液的電阻值越大。

圖 2-2

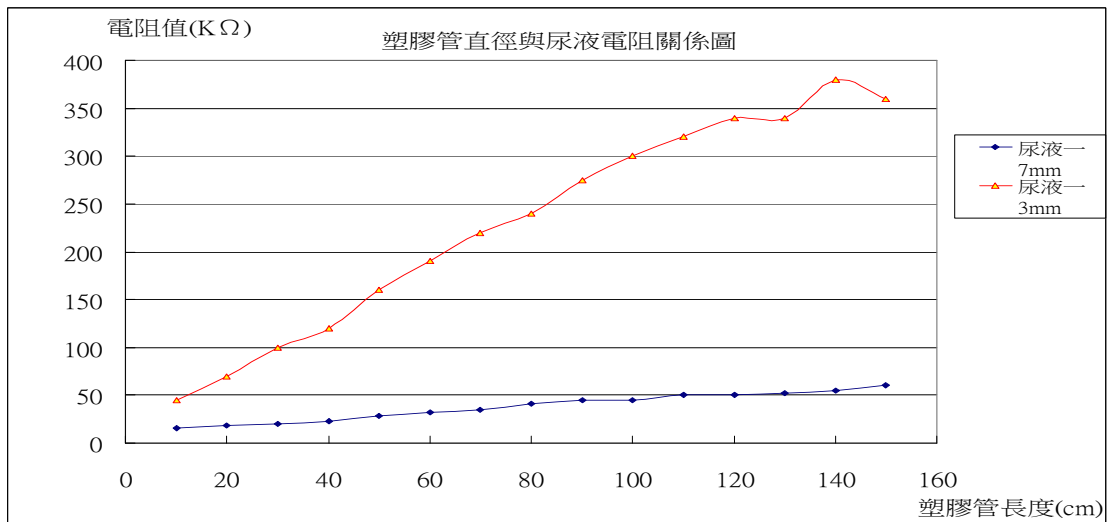
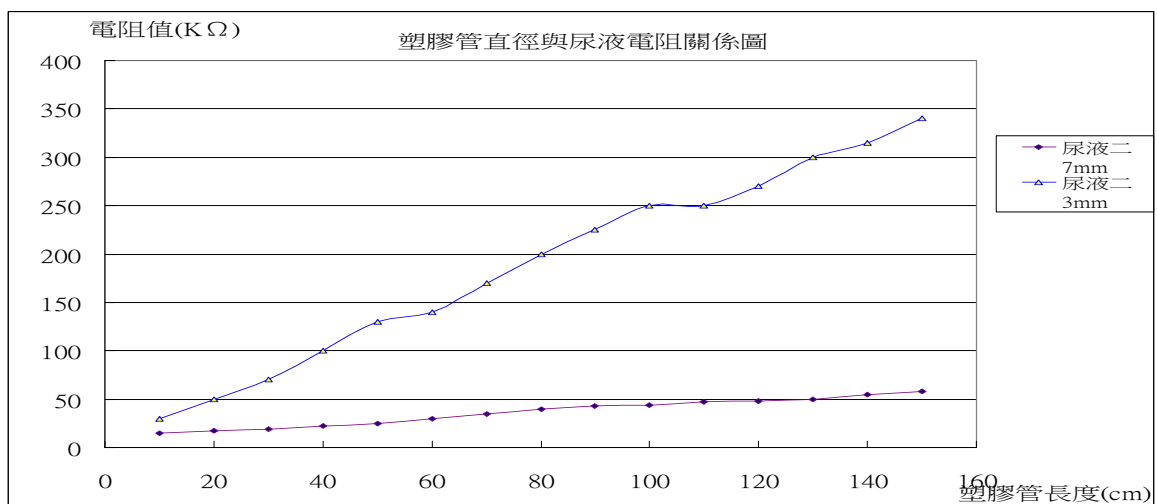


圖 2-3

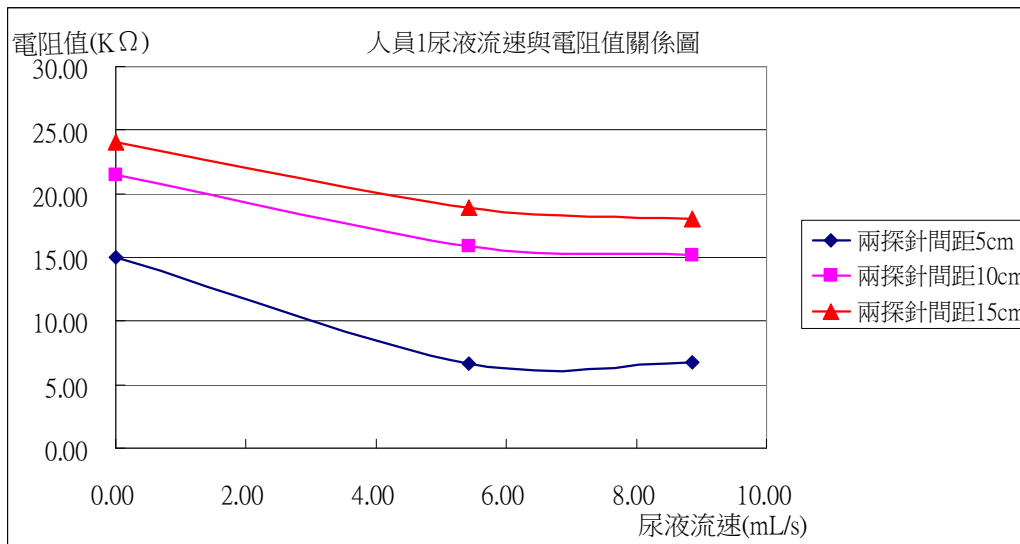


由圖 2-2、2-3 可以看出不論何種尿液樣本，只要塑膠管的截面積越大，尿液的電阻值都越小。

(二)、實驗:流動的尿液樣本電阻值(KΩ) 表 2-1

測試人員	流速(mL/s)	兩探針間距(cm)			測試人員	流速(mL/s)	兩探針間距(cm)		
		5cm	10cm	15cm			5cm	10cm	15cm
1	0	15.0KΩ	21.5KΩ	24.1KΩ	2	0	13.0KΩ	13.7KΩ	15.5KΩ
	5.42	6.7KΩ	15.9KΩ	18.9KΩ		5.42	7.4KΩ	11.1KΩ	13.8KΩ
	8.85	6.8KΩ	15.2KΩ	18.0KΩ		8.85	7.4KΩ	10.6KΩ	13.4KΩ

圖 2-4



由表 2-1 與圖 2-4 可以觀察到尿液的流速越快，電阻越小，而兩探針的間距越遠，電阻越大。

三、測量尿液的流量與流速

(一)、實驗結果:

表 3-1

次數	測試人員 1			測試人員 2			測試人員 3		
	尿量 (mL)	時間 (s)	流速 (mL/s)	尿量 (mL)	時間 (s)	流速 (mL/s)	尿量 (mL)	時間 (s)	流速 (mL/s)
7 次									
平均	301.4	25.9	11.6	348.1	21.5	16.0	233.3	25.4	9.5

(二)、模擬尿液流速

餵食袋裝水 500mL 下方出水調節口開關全開

表 3-2

掛鉤高度 (cm)	水流量 (mL)	時間 (s)	流速 (mL/s)	平均流速 (mL/s)
120	163	30	5.43	5.42
	160	30	5.33	
	165	30	5.50	
250	265	30	8.83	8.85
	262	30	8.73	
	270	30	9.00	

研究發現，不同測試人員的尿液流速差異很大，我們利用餵食袋想要模擬相近的尿液流速，但餵食袋掛 120cm 高時，流速只有 5.42mL/s，受限於餵食袋的細管長度小於 2m，室內高度最高至 250cm 高，最大流速只有 8.85mL/s，比測試人員的尿液流速稍慢。

#### 四、測量在直流電壓下，尿液的導電性

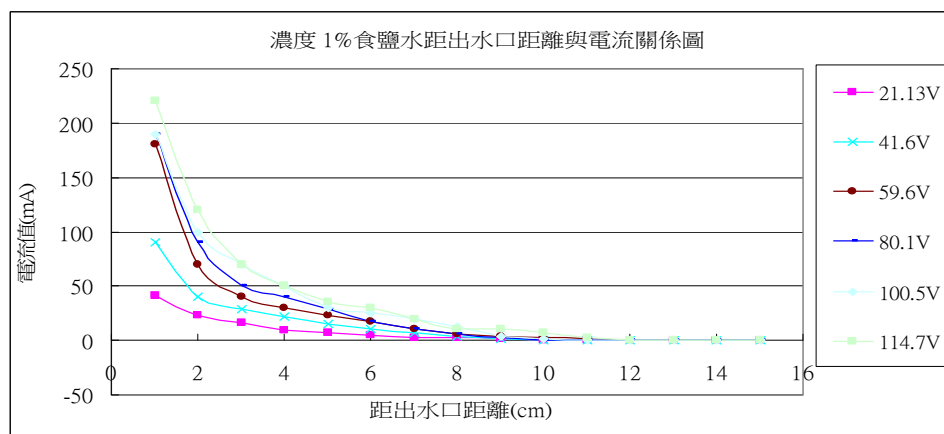
(一)、DC 電源 液體：濃度 1% 食鹽水 500mL 掛勾距出水口垂直距離：250cm

d：銅片與出水口的距離 (cm) I：測得的電流 (mA) V：供應的電壓 (V)

表 4-1

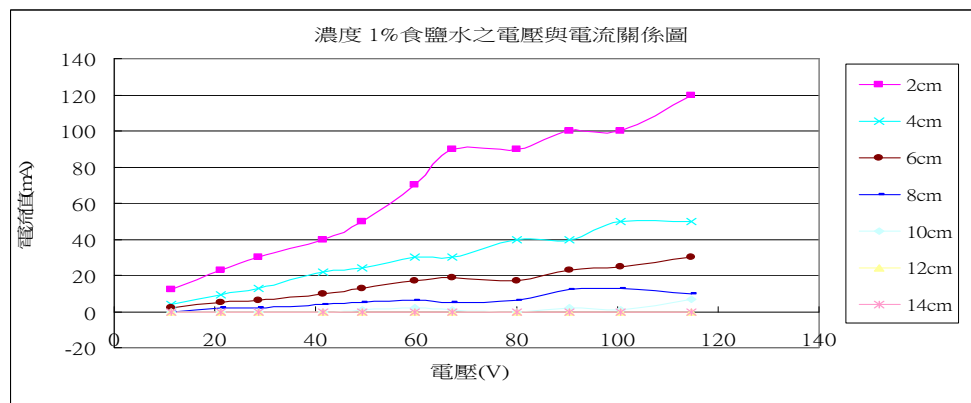
V \ d	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
11.21	28	12	7	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
21.13	41	23	16	9	7	5	3	2	1	0	0	0	0	0	0
28.63	45	30	21	13	9	6	4	2	1	0	0	0	0	0	0
41.6	90	40	29	22	15	10	7	4	1	0	0	0	0	0	0
49.2	120	50	32	24	19	13	8	5	3	1	0	0	0	0	0
59.6	180	70	40	30	23	17	11	6	4	2	1	0	0	0	0
67.3	220	90	50	30	25	19	12	5	3	1	0	0	0	0	0
80.1	190	90	50	40	29	17	10	6	3	0	0	0	0	0	0
90.4	220	100	70	40	30	23	17	12	4	2	0	0	0	0	0
100.5	190	100	70	50	30	25	20	13	4	1	0	0	0	0	0
114.7	220	120	70	50	35	30	20	10	10	7	2	0	0	0	0

圖 4-1



不同的電壓，距離越遠，電流值皆變小。而當電壓超過 40V 時，有機會出現超過 70mA 的危險電流。

圖 4-2



銅片與出水口距離越近，出現超過 70mA 的危險電流值所需的電壓值越小，距離越遠越安全。

(二)、電源：DC 液體：尿液樣本四 掛勾距出水口垂直距離：250cm

表 4-2

V \ d	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
21.13	12	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41.6	24	10	6	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0
59.6	26	15	9	6	4	3	2	2	0	0	0	0	0	0
80.1	36	21	13	9	6	5	3	2	1	0	0	0	0	0
100.5	42	25	16	12	8	5	4	2	2	1	0	0	0	0
121.8	47	30	21	14	9	7	4	3	1	0	0	0	0	0
129.9	50	33	22	15	11	7	5	3	2	1	0	0	0	0
139.6	72	32	21	16	11	7	4	3	1	0	0	0	0	0
154	100	36	25	19	14	10	7	5	2	1	0	0	0	0
162.5	120	38	27	20	15	11	8	4	3	1	0	0	0	0
173.1	130	40	29	23	17	12	8	6	3	1	0	0	0	0
183.4	135	41	30	22	16	12	7	3	2	0	0	0	0	0
193.3	150	43	33	25	18	14	11	7	4	2	1	0	0	0

圖 4-3

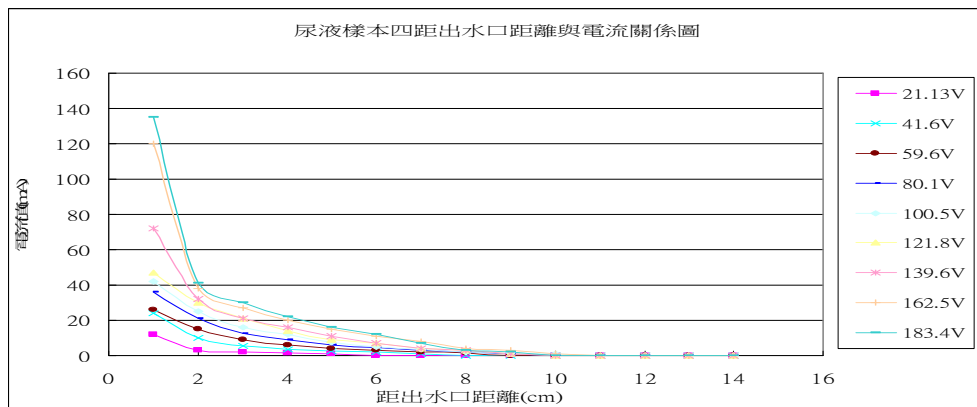
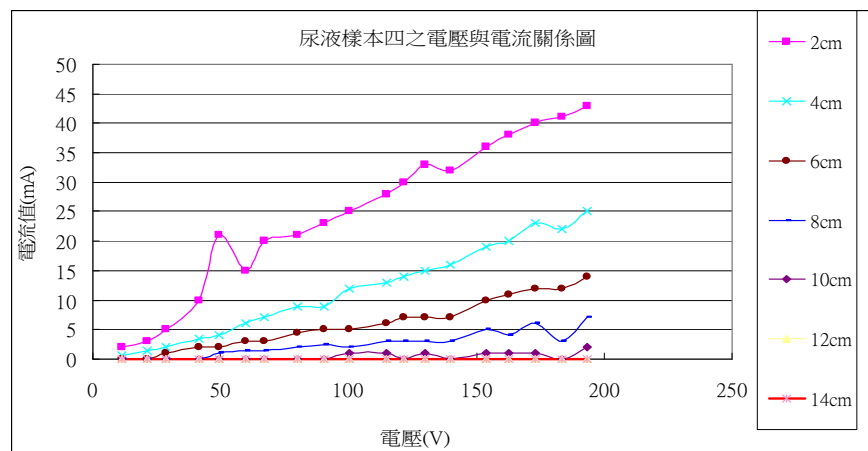


圖 4-4



五個尿液樣本中，樣本四之電阻值最大，所以測量出來的電流值如預期的比較小，電壓大於 139V 時，才有致命的 70mA，距離也要靠近到 1cm 內。



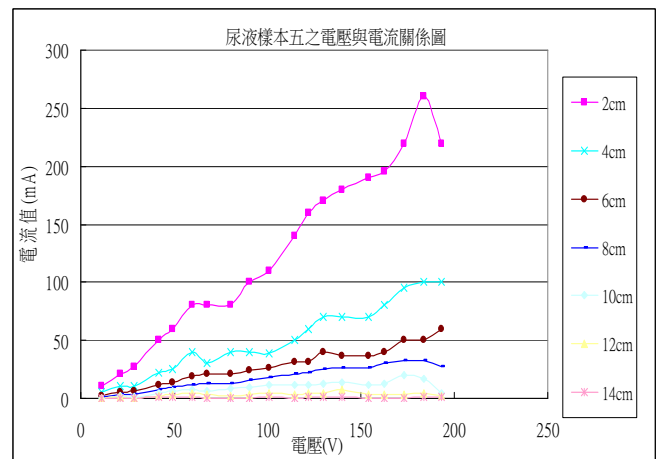
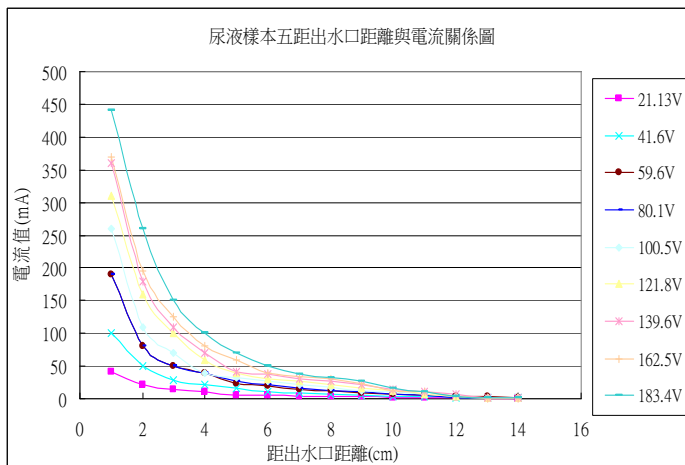
(三)、電源：DC 液體：尿液樣本五 掛勾距出水口垂直距離：250cm

表 4-3

d \ V	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
11.21	24	10	6	5	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0
21.13	41	21	15	10	6	5	4	3	3	2	1	1	0	0
28.63	45	27	16	10	8	6	4	3	2	1	1	0	0	0
41.6	100	50	29	22	16	11	9	7	6	4	3	2	1	1
49.2	140	60	35	25	19	14	9	9	7	6	3	3	2	1
59.6	190	80	50	40	24	19	15	12	9	7	5	4	3	1
67.3	190	80	50	30	26	21	16	13	10	6	6	3	1	0
80.1	190	80	50	40	27	21	17	13	10	8	6	2	1	0
90.4	250	100	60	40	29	24	22	16	12	9	6	3	1	0
100.5	260	110	70	39	32	26	22	18	13	11	7	4	2	1
114.7	290	140	90	50	38	31	26	21	17	11	7	3	1	0
121.8	310	160	100	60	39	31	27	22	17	12	7	4	2	1
129.9	310	170	110	70	50	40	29	25	19	13	7	4	2	1
139.6	360	180	110	70	42	37	31	26	21	14	10	7	2	1
154	360	190	110	70	60	37	31	26	19	12	7	3	1	0
162.5	370	195	125	80	60	40	34	30	24	13	10	3	0	0
173.1	400	220	140	95	70	50	38	32	26	20	9	3	1	0
183.4	440	260	150	100	70	50	37	32	27	17	10	4	2	1
193.3	450	220	140	100	70	60	36	27	13	4	3	2	1	1

圖 4-5

圖 4-6



五個尿液樣本中，尿液樣本五的電阻最小，實驗中發現只要 40V 就會有超過 70mA 的電流，而在 110V 下，距離只要 3~4cm 就可以致命，不同的尿液樣本出現危險電流所需的電壓與距離皆不相同。

## 五、測量在交流電壓下，尿液的導電性

### (一)、比較流速與電流的關係

表 5-1

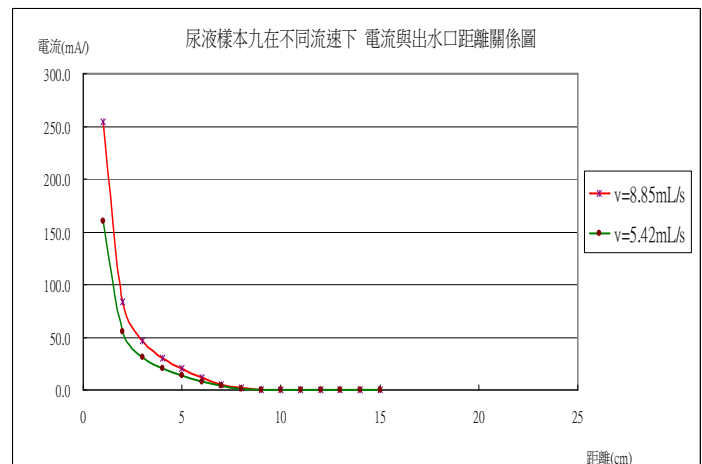
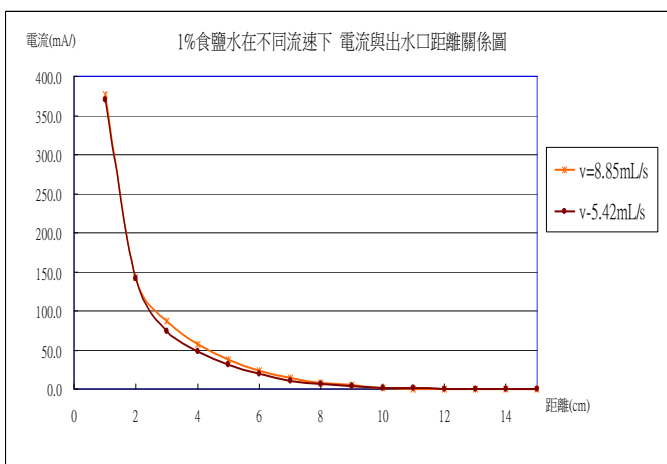
編號	電壓	液體	電極片	流速(mL/s)
5-1-1	AC110V	1%食鹽水	銅片	8.85
5-1-2				5.42
5-1-3		尿液樣本九		8.85
5-1-4				5.42

表 5-2

編號:5-1-1		AC 110V						濃度 1%食鹽水				電極:銅片		流速: 8.85 mL/s	
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	377.1	143.4	87.2	57.6	38.1	22.8	14.4	8.3	5.0	1.9	0.6	0.2	0.0	0.0	0.0
編號:5-1-2		AC 110V						濃度 1%食鹽水				電極:銅片		流速: 5.42 mL/s	
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	370.2	141.5	73.7	47.6	31.7	19.7	10.8	6.9	3.8	1.4	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0
編號:5-1-3		AC 110V						尿液樣本九				電極:銅片		流速: 8.85 mL/s	
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	254.2	83.5	46.1	29.7	20.1	11.4	5.2	1.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
編號:5-1-4		AC 110V						尿液樣本九				電極:銅片		流速:5.42 mL/s	
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	160.7	55.8	31.1	20.7	13.4	7.6	3.6	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

圖 5-1

圖 5-2



由圖 5-1 與圖 5-2 可發現當溶液流速較快，測得電流值越大，尿液受流速影響比食鹽水大。

## (二)、比較電壓與電流的關係

表 5-3

編號	電壓(AV)	液體	電極片	流速(mL/s)
5-2-1	220V	1%食鹽水	銅片	8.85
5-2-2	200V			
5-2-3	180V			
5-2-4	160V			
5-2-5	140V			
5-2-6	120V			
5-2-7	100V			
5-2-8	80V			
5-2-9	60V			
5-2-10	40V			
5-2-11	20V			
5-2-12	220V	尿液樣本十		
5-2-13	200V			
5-2-14	180V			
5-2-15	160V			
5-2-16	140V			
5-2-17	120V			
5-2-18	100V			
5-2-19	80V			
5-2-20	60V			
5-2-21	40V			
5-2-22	20V			

表 5-4

編號:5-2-1 AC 220V 濃度 1%食鹽水															
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16
平均電流(mA)	>400	337.2	195.6	134.1	100.7	77.7	63.2	50.7	48.8	36.5	26.2	21.0	15.8	11.9	8.9
編號:5-2-2 AC 200V 濃度 1%食鹽水															
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16
平均電流(mA)	>400	264.3	165.4	117.1	87.9	69.8	55.1	46.3	38.8	33.0	25.0	20.0	17.7	13.0	9.3
編號:5-2-3 AC180V 濃度 1%食鹽水															
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16
平均電流(mA)	>400	256.4	155.3	109.5	80.9	63.5	51.1	42.3	35.7	31.2	21.9	17.3	14.1	11.0	7.5

編號:5-2-4 AC160V 濃度 1%食鹽水															
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	>400	235.7	142.7	98.2	73.3	56.8	45.7	37.8	31.7	26.9	23.3	19.9	17.1	12.8	8.8
編號:5-2-5 AC 140V 濃度 1%食鹽水															
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	>400	195.6	121.0	84.7	62.7	49.0	39.9	32.8	28.6	23.2	19.3	17.3	14.4	11.5	8.7
編號:5-2-6 AC 120V 濃度 1%食鹽水															
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	344.5	165.0	104.2	73.0	53.8	43.0	34.0	28.3	23.3	19.5	17.5	14.8	13.4	9.4	7.3
編號:5-2-7 AC 100V 濃度 1%食鹽水															
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	292.2	132.2	81.8	57.9	43.7	34.3	28.1	23.2	19.3	16.4	14.1	11.9	9.3	6.3	4.5
編號:5-2-8 AC 80V 濃度 1%食鹽水															
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	243.3	102.1	62.7	46.4	35.1	27.2	22.1	18.3	15.3	13.4	11.2	9.5	7.9	6.2	4.5
編號:5-2-9 AC 60V 濃度 1%食鹽水															
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	195.2	79.6	48.5	33.8	26.1	20.7	16.5	13.6	11.6	9.9	8.4	6.9	5.8	4.4	2.8
編號:5-2-10 AC 40V 濃度 1%食鹽水															
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	126.3	56.9	35.3	24.1	18.7	14.3	11.2	9.2	7.6	6.5	5.5	4.4	3.2	2.2	1.0
編號:5-2-11 AC 20V 濃度 1%食鹽水															
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	71.8	30.7	17.8	12.6	9.3	7.3	5.8	4.8	4.0	3.3	2.8	2.2	1.6	0.7	0.0
編號:5-2-12 AC 220V 尿液樣本十															
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16
平均電流(mA)	>400	207.8	127.8	89.3	68.0	53.0	43.0	35.6	30.2	25.8	18.7	16.1	13.2	11.5	11.5
編號:5-2-13 AC 200V 尿液樣本十															
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	379.3	178.8	112.5	79.5	58.8	46.3	38.5	31.5	26.9	22.6	19.5	16.7	14.1	11.7	8.6

流(mA)															
編號:5-2-14 AC 180V 尿液樣本十															
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	351.1	157.6	102.3	72.1	53.2	42.7	33.6	28.1	23.9	20.2	17.8	15.0	14.0	10.9	9.2
編號:5-2-15 AC 160V 尿液樣本十															
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	320.9	143.7	91.0	64.7	46.9	37.5	30.0	25.0	21.1	18.1	15.3	13.3	10.9	9.7	7.7
編號:5-2-16 AC 140V 尿液樣本十															
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	273.0	126.1	79.0	55.4	40.8	31.9	25.9	21.5	18.2	15.6	13.3	11.5	10.1	8.7	7.1
編號:5-2-17 AC 120V 尿液樣本十															
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	239.1	105.7	66.0	45.9	34.9	27.4	21.9	18.2	15.4	12.8	11.0	9.7	8.4	6.9	5.7
編號:5-2-18 AC 100V 尿液樣本十															
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	202.4	87.3	54.7	37.8	28.5	22.6	18.2	15.1	10.6	11.0	9.5	8.1	7.1	6.1	5.1
編號:5-2-19 AC 80V 尿液樣本十															
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	150.9	66.7	42.0	29.4	21.9	17.7	14.2	11.6	9.9	8.5	7.2	6.3	5.4	4.6	3.7
編號:5-2-20 AC 60V 尿液樣本十															
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	102.4	46.8	29.3	20.5	15.3	12.2	9.8	8.1	6.8	5.7	5.0	4.3	3.5	3.1	2.4
編號:5-2-21 AC 40V 尿液樣本十															
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	72.3	33.1	21.1	15.0	10.8	8.7	7.1	5.7	4.9	4.2	3.6	3.0	2.6	2.1	1.6
編號:5-2-22 AC 20V 尿液樣本十															
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	37.8	17.0	11.0	7.7	5.6	4.4	3.4	2.9	2.5	2.1	1.8	1.6	1.3	1.1	0.6

圖 5-3

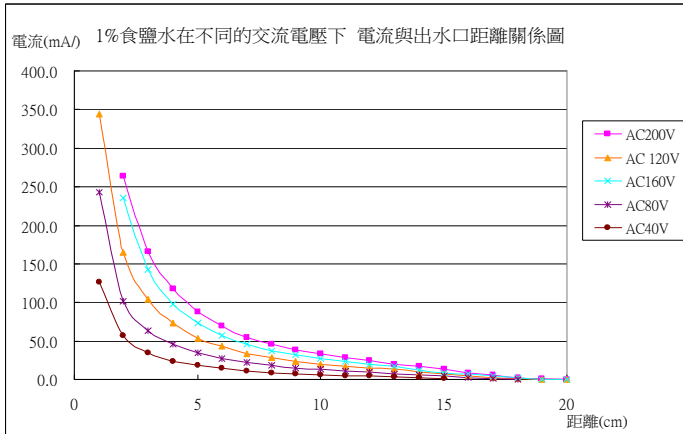
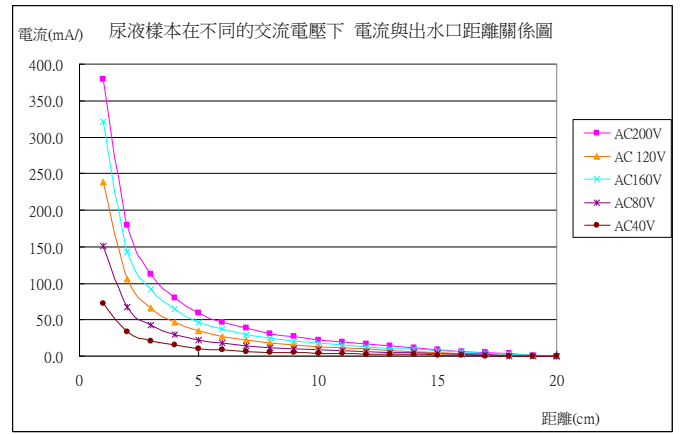


圖 5-4



由圖 5-3 與圖 5-4 可發現交流電壓值越大，測得的電流也越大，隨著與電極的距離越遠，測得電流急速下降。在交流電壓 20V 時，距離在 3~4cm 內就可測得大於 10mA 的電流；而在 220V 的交流電壓時，距離超過 15cm 以上，電流才能降至 10mA 以下。

(三、) 比較電極材質與電流的關係

表 5-5

編號	電壓	液體	電極片
5-3-1	AC110V	1%食鹽水	銅片
5-3-2	AC110V	尿液樣本六	銅片
5-3-3	AC110V	尿液樣本七	銅片
5-3-4	AC220V	1%食鹽水	銅片
5-3-5	AC220V	尿液樣本六	銅片
5-3-6	AC220V	尿液樣本七	銅片
5-3-7	AC220V	1%食鹽水	鋅片
5-3-8	AC220V	1%食鹽水	湯匙
5-3-9	AC220V	尿液樣本八	鋅片
5-3-10	AC220V	尿液樣本八	湯匙

表 5-6

編號:5-3-1		AC 110V					濃度 1%食鹽水					電極:銅片				
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
平均電流(mA)	221.67	89.79	54.91	35.31	19.27	11.93	5.18	1.55	0.76	0.1	0.08	0.01	0	0	0	
編號:5-3-2		AC 110V					尿液樣本六					電極:銅片				
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
平均電流(mA)	113.78	51.96	34.08	23.02	11.54	5.34	1.78	0.12	0	0	0	0	0	0	0	

編號:5-3-3		AC110V				尿液樣本七				電極:銅片					
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	205.8	90.2	57.2	39.9	29.0	22.2	17.4	14.2	11.52	7.4	4.9	2.2	0.7	0.1	0
編號: 5-3-4		AC 220V				濃度 1%食鹽水				電極:銅片					
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	>400	228.9	134.9	93.1	70.1	53.1	39.4	24.7	19.7	8.2	2.1	2.1	0.1	0	0
編號:5-3-5		AC220V				尿液樣本六				電極:銅片					
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	>400	191	120.5	84.4	61.0	47.1	35.2	27.5	14.6	7.0	1.5	0.9	0.1	0	0
編號:5-3-6		AC 220V				尿液樣本七				電極:銅片					
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	361.2	169.3	102.8	69.6	51.7	37.7	30.1	24.7	14.9	8.8	8.2	2.3	0.96	0.38	0
編號:5-3-7		AC 220V				濃度 1%食鹽水				電極:鋅片					
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	348.7	175.76	116.02	84.12	64.52	50.42	42.06	34.47	25.61	20.2	8.38	2.78	0.27	0	0
編號:5-3-8		AC 220V				濃度 1%食鹽水				電極:湯匙					
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	328.6	172.26	115.9	82.4	62.24	139.2	37.79	28.22	17.30	10.0	6.36	2.32	0.52	0.25	0
編號:5-3-9		AC 220V				尿液樣本八				電極:鋅片					
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	205.96	120.92	79.96	57.2	43.52	31.81	24.07	14.31	5.746	1.92	0	0	0	0	0
編號:5-3-10		AC 220V				尿液樣本八				電極:湯匙					
距離(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
平均電流(mA)	197	100.5	66.2	47.7	35.06	23.98	13.60	6.66	2.99	1.37	0.23	0	0	0	0

由表 5-6 可以觀察到當電壓為 220V，液體為 1%食鹽水時，銅片在 9cm 內電流可達危險電流值 10mA，而電極材料不論是鋅片或湯匙，都是 10cm 內可達危險電流值，差異並不大。

圖 5-5

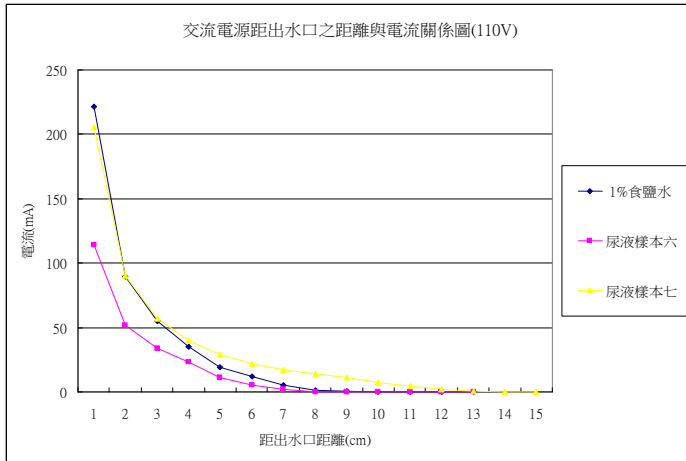
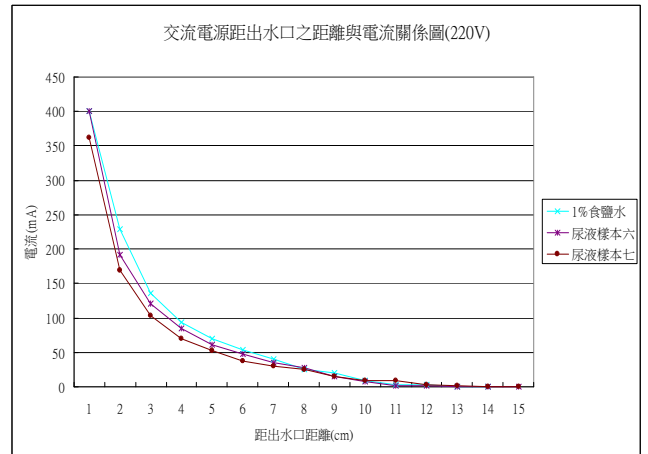


圖 5-6



從圖 5-5 與圖 5-6 可以看出電流值的變化與溶液種類較無明顯關係，電極片距出水口的遠近才是影響電流值的主要原因，當距離越近，電流值會急速升高。

圖 5-7

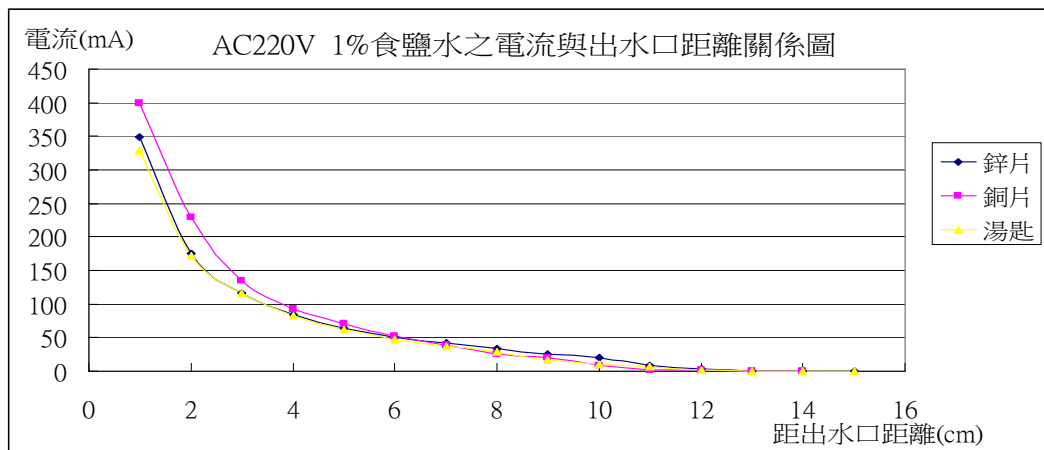
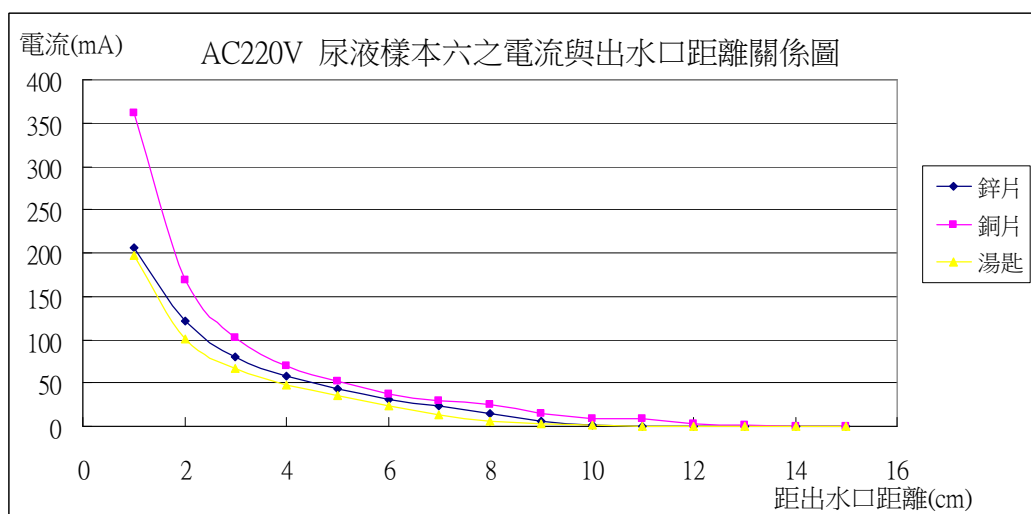


圖 5-8



從圖 5-7 與圖 5-8 可以觀察出鋅片、銅片、湯匙的電流變化趨勢很類似，可見電極材料對電流的影響較小。食鹽水跟尿液的電流變化趨勢也很相似，可見溶液的種類也無明顯關係。



表 5-7

電源：220VAC		餵食袋內液體：1%食鹽水				操作變因:橡皮管長度			
鋅片	橡皮管長度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80
	電流值(mA)	92.7	27.98	1.85	11.86	8.82	6.74	5.73	5.25
	橡皮管長度(cm)	90	100	110	120	130	140	150	
	電流值(mA)	4.53	4.35	3.92	3.58	3.21	3.07	2.9	
銅片	橡皮管長度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80
	電流值(mA)	91.6	32.1	18.34	11.42	8.72	6.94	5.79	5.19
	橡皮管長度(cm)	90	100	110	120	130	140	150	
	電流值(mA)	4.65	4.33	3.89	3.55	3.24	3.12	2.88	
湯匙	橡皮管長度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80
	電流值(mA)	99.3	33.48	18.36	11.86	8.63	6.83	5.76	5.22
	橡皮管長度(cm)	90	100	110	120	130	140	150	
	電流值(mA)	4.74	4.05	4.05	3.69	3.26	3.05	2.89	

表 5-8

電源：220VAC		餵食袋內液體：新鮮尿液				操作變因:橡皮管長度			
鋅片	橡皮管長度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80
	電流值(mA)	68.1	18.14	11.7	8.07	6.83	4.81	4.07	3.48
	橡皮管長度(cm)	90	100	110	120	130	140	150	
	電流值(mA)	3.02	2.72	2.68	2.52	2.5	2.1	2.02	
銅片	橡皮管長度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80
	電流值(mA)	62.1	18.58	11.45	7.85	6.41	4.85	4.09	3.47
	橡皮管長度(cm)	90	100	110	120	130	140	150	
	電流值(mA)	3.09	2.72	2.62	2.47	2.21	2.13	1.98	
湯匙	橡皮管長度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80
	電流值(mA)	62.4	19.23	10.76	8.67	5.93	4.86	4.08	3.86
	橡皮管長度(cm)	90	100	110	120	130	140	150	
	電流值(mA)	3.04	2.85	2.66	2.54	2.31	2.1	2	

從表 5-7 與 5-8 可以看出，當橡皮管長度為 150cm 時(相當於成年男子小便時高度)在出水口都還可以測到微弱電流，而橡皮管長度為 30cm 時，電流大小可達危險的 10mA。顯示尿液柱若集中不分散，則觸電危險機率增高

圖 5-9

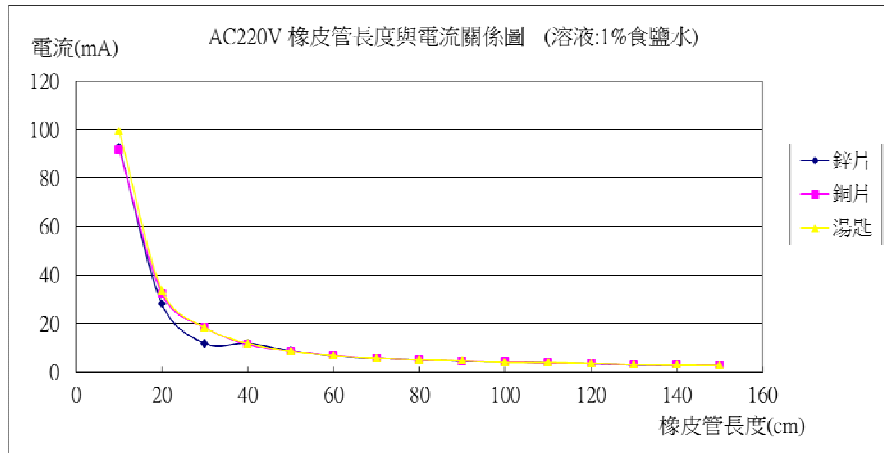
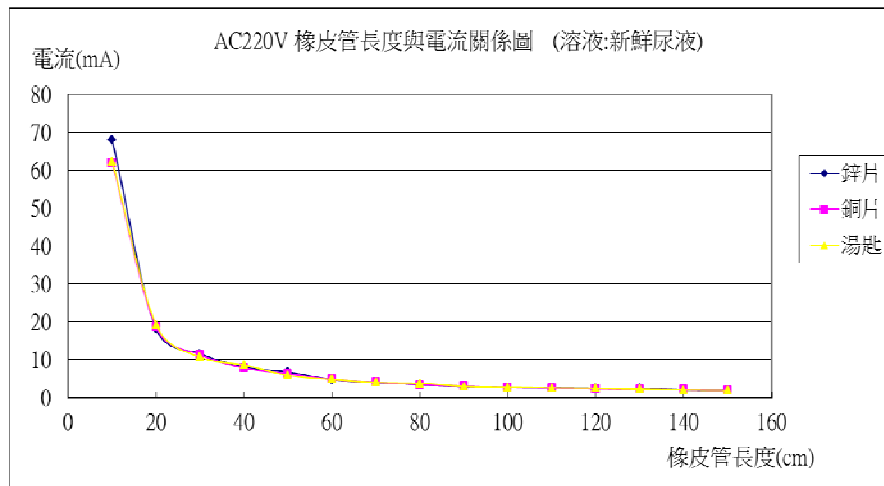


圖 5-10



從圖 5-9 與 5-10 可以看出當橡皮管長度在 30cm 內時，管口測得之電流值會急速上升。

## 陸、 討論

- 一、現代生活用電普及，觸電事件時有所聞，電擊對人體的危害與通過人體的電流大小有關，而電流的大小又與接觸的電壓和人體的電阻值來決定。我們使用三用電表測人體皮膚電阻時，發現探針接觸皮膚時輕碰或重壓測出的值差異很大，我們選擇了將兩探針固定在版上，兩手指輕壓探針的方式測量。即便如此，影響電阻值的變因仍然很多，在我們的實驗結果中，測得的電阻值較大是 3000 K $\Omega$ （國中男生兩手指乾燥時的電阻值），最小的是 40 K $\Omega$ （小一男生兩手指潮濕時的電阻值），本實驗的目的並不在精確的測量人體電阻值，只試著找出人體電阻值的大概範圍。
- 二、本實驗測量不同的尿液樣本，發現電阻值的個別差異很大，我們推測是因為每個人的飲食習慣不同，因此所獲得的離子各有不同，但身體會自動調節體內離子的濃度，而多餘的離子便藉由尿液排出體外。因此，雖然血液內的離子濃度會保持恆定，但尿液內的離子濃度則會隨著飲食改變而不同。但不論是哪一種尿液樣本，我們皆發現：尿液柱的長度愈長、愈細，則電阻愈大，且流動的尿液電阻變小。
- 三、我們分別測了自己的尿液流速，結果發現流速在 10~20mL/s 之間，我們試著使用大小不同的氣球來模擬人體尿液的流速，但發現無法有效控制壓力；接著改用注射針筒來嘗試，但還是無法得到較佳的結果。最後，我們決定使用掛點滴的餵食袋，但是受限於點滴管的管長小於兩公尺，所以只能模擬出接近 10mL/s 的流速。
- 四、根據資料，通過人體的直流電電流若超過 70 毫安培以上，便有致死的可能性；而 60 赫茲的交流電，只要 10 毫安培便可能致死。實驗結果發現，通以 110V 直流電時，當電極與出水口距離在 3cm 內，電流量即足以致死；交流電因致死所需電流較小，在 60 赫茲的 220 伏特交流電下，電極與出水口距離 15cm 以內，即可達到該危險電流值，所以，只要距離拉遠，尿液柱分散，觸電機率即降低很多，即使觸電也不至於痛到無法忍受。

電擊之影響	直流電 mA		交流電 mA (60Hz)	
	男	女	男	女
不感覺痛苦之電震，肌肉可活動自如	9	6	1.8	1.2
已感覺痛苦之電震，但肌肉仍可活動自如	62	41	9	6
已感覺痛苦之電震，已無法忍受程度	76	51	16.9	10.5
已感覺痛苦之電震，肌肉強直，呼吸困難	90	60	23	15

- 五、我們採用銅片、鋅片與湯匙當作電極，當改變電極材質時，電流的變化與電極材料無明顯相關，因電極材質的電阻值差異性遠小於尿液柱因距離變化時電阻的改變。
- 六、不論電壓為 AC110V 或 220V，距離超過 15cm 以上時，電流皆小於 10mA，探討其原因可能是因尿液柱分散，所以我們在出水口再接上橡皮管，模擬尿液柱不分散的情況，發現橡皮管長度為 10cm 時，管口電流值可達 60mA 以上；管長至 150cm 長時，管口還可測得微弱電流，可見尿液能否使人觸電與尿液柱是否分散有極大的關係。

## 柒、 結論

- 一、人體電阻值差異性很大 ( $40\text{ K}\Omega\sim 3000\text{ K}\Omega$ )，但可確定的是：皮膚潮濕時電阻值會降低很多（約降為原電阻的  $1/5$ ），增加觸電的危險。
- 二、尿液樣本不同，電阻值的個別差異很大。但共同的是：尿液柱的長度愈長、愈細，則電阻愈大，且流動的尿液電阻變小。
- 三、直流電源下，不同的尿液樣本雖然電阻值差異大，但可得到同樣的結論：電壓越大時，測得的電流越大，但距離才是影響電流值的主因，當距離小於  $3\text{cm}$  時，即可測得  $70\text{mA}$  以上的危險電流值。
- 四、交流電源下不論  $110\text{V}$  或  $220\text{V}$ ，距離在  $15\text{cm}$  以內即可達到  $10\text{mA}$  以上的危險電流值；與電極材質或溶液樣本均無明顯的關係。
- 五、尿液是否導致觸電的另一個主因與尿液柱是否分散有關；當尿液柱集中無分散時，在  $10\text{cm}$  遠處可測得  $60\text{mA}$  以上的電流，而  $150\text{cm}$  遠處都還可以測得微小電流。
- 六、電影情節中，尿液觸電的情況，真實發生機率很低，除非電壓極高，尿液柱集中且與通電湯匙距離很近，才有可能發生。

## 捌、 參考資料

- 一、南一版國中自然第五冊第四章 電與生活
- 二、康軒版國中自然第四冊第二章 酸鹼鹽
- 三、觀念物理 V(電磁學、核物理) 陳可崗 譯 民 90 年出版
- 四、中華民國第四十六屆中小學科展作品：新能源的領航者－尿液電池
- 五、基本電學 賴柏洲 著 民 97

## 【評語】 030107

本作品由電影的劇情中擷取題材並進行探討，是發揮學以致用的好範例，如能就數據中特殊的部分(如電流與流速的關係)再做進一步的研究，則對作品的完整性及科學性更有加分的效果。