

〔原 著〕

## 濃度の異なる溶液間の電橋にろ紙を用いたときに発生する電位差

猪股孝四郎, 鈴木光代, 星 和明, 太田 勲, 倉橋昌司\*

北海道医療大学歯学部口腔生理学講座  
\*北海道医療大学看護福祉学部生命基礎科学講座

(主任: 猪股孝四郎教授)

The potential differences between two solutions with different concentrations of electrolytes using filter paper as a bridge.

Koshiro INOMATA, Mitsuyo SUZUKI, Masaaki HOSHI,  
Isao OOTA, Masashi KURAHASHI\*

Department of Oral Physiology, School of Dentistry  
\*Department of Medical Science, School of Nursing & Social Services,  
HEALTH SCIENCE UNIVERSITY OF HOKKAIDO

(Chief Prof Koshiro INOMATA)

### Abstract

This study investigated how the magnitude of potential differences between two solutions containing different concentrations of electrolytes is affected by the type of filter paper used as bridge between the two solutions. The following results were obtained.

(1) Potential differences were obtained with filter paper as the bridge between two solutions with different concentrations of electrolyte. The potential difference was comparable to the bias voltage in the circuit. The mechanism of generation of the potential difference was attributed to the concentration cell. It is suggested that filter paper acts as a semipermeable membrane similar to the living cell membrane or an ion electrode membrane.

(2) There was no significant potential difference with agar drum (dissolved with saline) as the bridge. This result appears to be a result of an absence of ion transfer with in the agar drum.

(3) The magnitude of the potential difference varied with the type of filter paper used for the bridge. Variations in the magnitude may be attributed to differences in ionic transfer in filter paper.

(4) There were potential differences between resting and stimulated saliva, and between

---

受付 平成7年3月31日

saliva and physiological saline It is considered that fluids such as resting and stimulated saliva, and physiological saline act as electrical generators

**Key words** Potential between two fluids, Filter paper bridge, Bias voltage, Resting saliva, Stimulated saliva

## 緒 言

これまでに著者ら(猪股ら<sup>1)</sup>, Inomata et al<sup>2)</sup>は,ろ紙を電橋に用いることによって,採取した唾液と生理的食塩水の間電位差が存在すること,この電位差は安静時唾液を用いた場合の方が刺激時唾液の場合よりも大きいことを報告してきた。さらに安静時唾液と刺激時唾液との間にも電位差が存在することを明らかにした。しかし,電橋に用いるろ紙の種類が電位差の大きさにどのような影響を与えるかについては,まだ十分に検討されていない。

本研究では,濃度差のある溶液間に発生する電位差の大きさに対する電橋に用いるろ紙の影響を明らかにするために,ろ紙の種類と電位差の大きさの関係を入手できた数種類のろ紙について検討した。

## 実験方法

濃度差のある溶液間の電位差は,猪股ら<sup>1)</sup>の方法に準じて測定した。その概要をFig.1に示す。Sample (I) および Sample (II) は,それぞれ sample cup (容量: 2 ml) に満たした任意の濃度の溶液である。一枚のろ紙(幅: 5 mm, 長さ: 40 mm)の一端を Sample (I) に,他端を Sample (II) に浸漬し,電橋とした。電橋に用いたろ紙は,総てアドバンテック東洋社製のものである。電位差導出用の電極(L)には,ビニールチューブ(内径: 1 mm, 長さ: 50 mm)内に綿糸を留置し,生理的食塩水を満たしたものを用いた。留置した綿糸の両端は,ビニールチューブの断端より内側に約 1 mm 陥没した状態

にした。この電極の一端は,脳波用の電極糊を用いて脳波用電極に接続した。検出器(G)には,入力抵抗が $10^{11}\Omega$ 以上を有する微小電極用前置増幅器(MEZ-7200, 日本光電工業社製)を用いた。電位の記録には,ペンオシログラフ(8 K14-2-S, 三栄測器社製)を用いた。

## 実験結果

Fig.1のSample (I) に50mM, Sample (II) に150mMの食塩水を満たし,ろ紙の一端をSample (I) に,他端をSample (II) に静かに浸漬した。するとろ紙の両端から溶液が次第に中央部へ移動し,両溶液が融合した。この時,

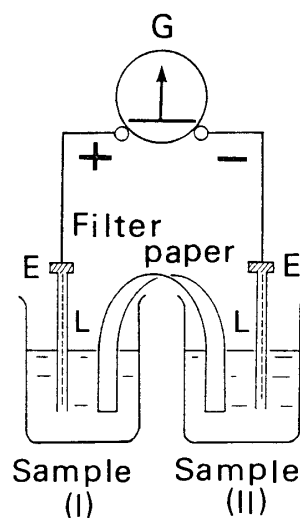


Fig 1 Diagram of system for detection of potential differences between Sample (I) and Sample (II)

L Thread electrode of vinyl tube, (1mm inside diameter) with cotton thread, and its lumen filled with physiological saline

E Ag-AgCl electrode (8mm in diameter, NT-211U, NIHON KOHDEN)

G Microelectrode amplifier with input resistance more than  $10^{11}\Omega$  (MEZ-7200, NIHON KOHDEN)

Table 1 Potential differences for different types of filter paper

Type of filter paper (ADVANTIC)		Voltage difference
Quantitative filter paper (定量ろ紙)	No 3	1.2 mV
	No 5A	3.1
	No 5B	2.7
	No 5C	2.7
	No 6	2.4
	No 7	5.1
Qualitative filter paper (定性ろ紙)	No 1	1.1
	No 2	0.1
	No 131	1.1
Hardend filter paper (硬質ろ紙)	No 4A	4.4
Chromatography paper (クロマトグラフィー用ろ紙)	No 51A	6.2

突然電位差が記録できた。電位差は融合時点から約20秒後にほぼ一定の値に達した。この時点の電位差を測定し、これを電位差の大きさとした。

電橋に用いるろ紙の種類と電位差の大きさの関係をTable 1に示す。これより明らかなように、電位差の大きさはろ紙の種類によって著しく異なった。最も大きな電位差が記録できたのは、電橋にクロマトグラフィー用ろ紙(Chromatography paper, No. 51A)を用いた場合であった。逆に最も小さな電位差は、定性ろ紙(Qualitative filter paper)のNo2を用いた場合であった。本実験で用いたろ紙のなかでは、定性ろ紙(Quantitative filter paper)で記録できた電位差は、その他のろ紙の場合に比べて常に小さな値を示した。

以上より、電橋にろ紙を用いた場合には、ろ紙の種類によって記録できる電位差の大きさが異なることが明らかになった。本実験で用いたろ紙のなかでは、No51A, No7あるいはNo4Aを電橋に用いれば、かなり大きな電位差を記録でき

Table 2 Potential differences between Sample (I) and Sample (II)  
Sample (I) contained with various concentration of NaCl  
Sample (II) contained with 50mM NaCl

**A** Filter paper No 5C

Sample I	Sample II	Voltage difference
150mM	50mM	-2.6 mV
100	50	-1.4
50	50	0
30	50	1
10	50	5.7
5	50	14.1

**B** Filter paper No 4A

Sample I	Sample II	Voltage difference
150mM	50mM	-4.3 mV
100	50	-2.8
50	50	0
30	50	2.3
10	50	9.8
5	50	17.5

ることが示された。

Fig.1のSample (II)に50mMの食塩水を満たし、これを基準とした。Sample (I)に種々の濃度の食塩水を満たし、Sample (II)に対する濃度差と電位差の大きさの関係を検索した。電橋には定性ろ紙No5C(Table 2A)あるいは硬質ろ紙No4A(Table 2B)を用いた。

Table 2より明らかなように、いずれのろ紙の場合も電位差は、溶液の濃度差に依存して増大した。また、濃度の高い方にある電極は、濃度の低い方にある電極に対して常に負性を示した。なお、定性ろ紙No5Cより硬質ろ紙No4Aを電橋に用いた場合の方が大きな電位差が記録できた。この成績は、前述のTable 1の成績と一致する。

Fig.2は、Sample (I)の食塩の濃度を横軸に、電位差の大きさを縦軸にして、Table2に示した成績をプロットしたものである。定性ろ紙No5Cを電橋に用いた時に記録できた電位差の

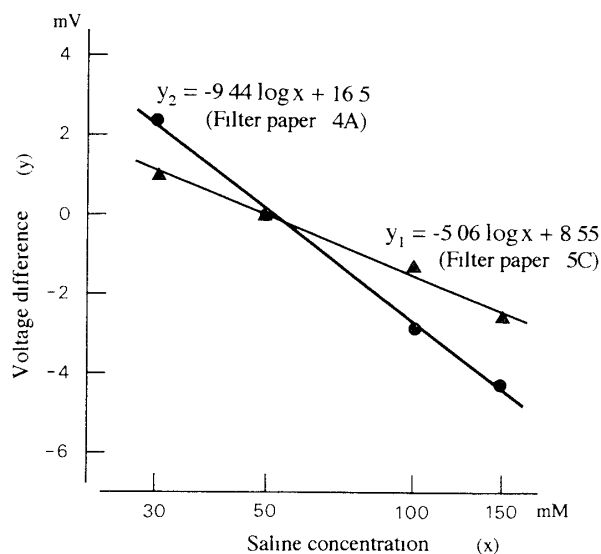


Fig 2 Magnitude of potential difference versus NaCl concentration

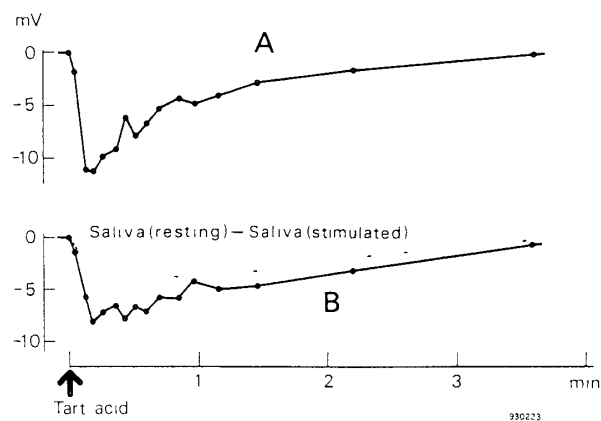


Fig 4 A Average potential difference as in Fig 3 B  
B The solid line is that in Fig 3C The broken line indicates the compensated potential difference subtracting the bias voltage from the actually measured value(solid line)

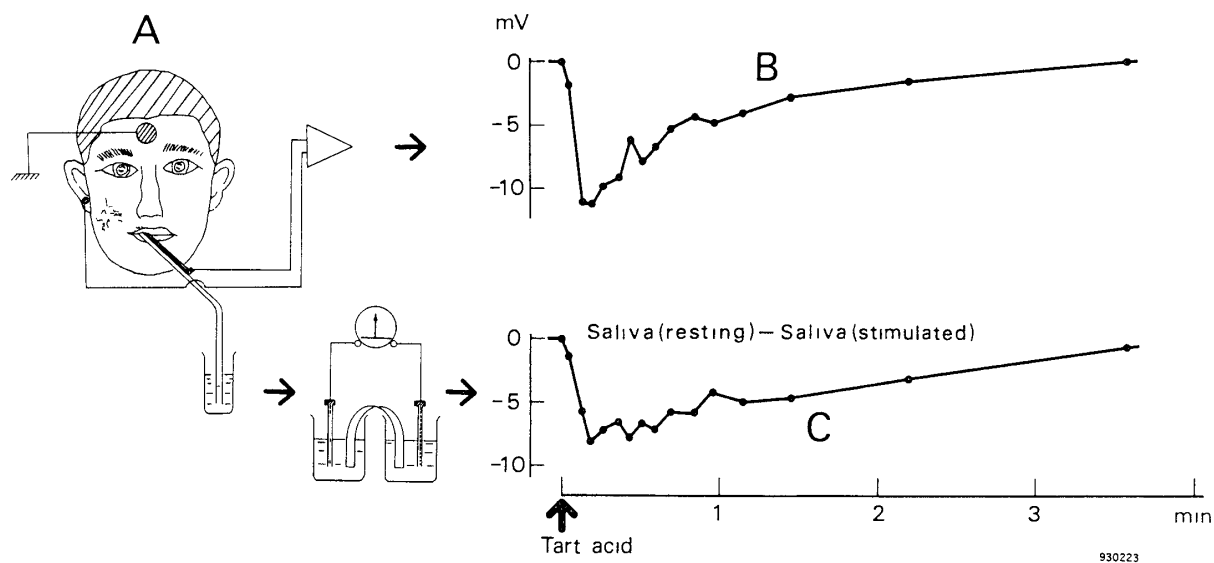


Fig 3 A Diagram of the recording system of electrical changes in the papilla parotidea, and between resting and stimulated saliva  
B Average potential difference with time required to collect 0.2ml saliva C potential difference between resting and stimulated saliva detected with filter paper(No 4A) as a bridge

大きさ（起電力）と食塩の濃度の関係は、次の近似式で示される。

$$Y_1 = -5.06 \log X + 8.55 \quad (1)$$

同様に、硬質ろ紙No4Aを用いた場合の近似式は、

$$Y_2 = -9.44 \log X + 16.15 \quad (2)$$

である。

Fig 3は、耳下腺開口部における電位変化の

記録法（猪股ら<sup>1)</sup>）と採唾法（Fig 3A）ならびに耳下腺開口部の電位変化（Fig 3B）および採取した安静時唾液と刺激時唾液の間に発生した電位差の大きさの変化（Fig 3C）を同時に記録した一例である。耳下腺開口部の電位は、酒石酸（3%）による刺激後10秒以内に最大値の11 mVに達した。一方、採取した安静時唾液と刺激時唾液との間に生じた電位差は、上述の耳下腺

開口部の電位よりやや低く、最大値で約8mVであった。しかし、両者の電位はほぼ同様な変動経過を示した(このFig. 3, 4は刺激間隔を5分としたときの1例を示した)。

## 考 察

本実験において、濃度差のある食塩水間の電橋にろ紙を用いると電位差が認められ、その大きさはろ紙の種類によって著しく異なることが明らかになった。

本実験に用いた50mMから150mMの食塩水は、いずれの濃度の場合も溶液中で食塩はすべて $\text{Na}^+$ と $\text{Cl}^-$ に電離した状態で存在する。つまり、食塩の濃度いかにかわらず、食塩水それ自体は電氣的に中性であり、電位差は存在しない。したがって、濃度の異なる二つの食塩水を電橋で連絡したとしても、溶液のそれぞれは電氣的に中性であるから、両者の間に電位差は存在しないはずである。事実、生理的食塩水を含む寒天を電橋に用いた場合、電位差はほとんど認められなかった(猪股ら、未発表)。しかし、本実験で示したように電橋にろ紙を用いた場合、明らかな電位差が認められた(Table 1, 2)。この電位差発生に関する寒天とろ紙の相違は、電橋の中をイオンが移動するか否かによると考えられる。

寒天電極は、従前より一般に不分極電極として広く用いられている。この事実を考慮すると、寒天の電橋では極めて微小な電位差しか認められなかったのは、電解質の移動がほとんどないことによると推察できる。一方、ろ紙を電橋とした場合は、前述のようにろ紙を介して両溶液が接することが認められた。つまり、ろ紙の電橋では溶媒である水とともに $\text{Na}^+$ と $\text{Cl}^-$ の顕著な移動が起こり、この移動が大きな電位差の発生をもたらすと考えられる。換言すると、ろ紙を電橋とした場合の電位差の発生は、おそらく濃淡電池と同様の機序によると考えられる。こ

の問題に関しては、さらに詳細な検討が必要である。

電橋として用いるろ紙の種類によって、発生する電位の大きさが異なることが明らかになった(Table 1)。この現象は、電橋における電離した $\text{Na}^+$ と $\text{Cl}^-$ の移動性あるいは浸透性がろ紙の種類によって異なることによると考えられる。また、食塩濃度の高い溶液が低い溶液に対して常に負性を示していた事実(Table 2)は、 $\text{Na}^+$ の方が $\text{Cl}^-$ より移動性が高く、 $\text{Na}^+$ がこの電位差の発生を支配していると考えられる。ろ紙の種類により発生する電位差の大きさが異なるのは、ろ紙の素材ならびに製法の違いが原因の一つであると考えられる。この点に関しては、さらに詳細な検討が必要である。

以上述べた考えが妥当であるとしたら、ろ紙は細胞膜や種々なイオン電極の膜のようなイオンに対する選択透過性を少なからず有することが示唆される。さらに、電橋にろ紙を用いたときに発生する電位差は、いわゆる電気回路中のバイアス電位(Bias voltage)に相当するものと考えられる。すなわち、増幅器を能率よく作動させるためには、入力作動基点を電氣的に偏位させてある。これと同様に本実験で用いた装置(Fig. 1)が効率よく作動するためには、電氣的に偏位した状態を基点にしていると推察できる。したがって、真の電位差の大きさ(起電力)を知るためには、この偏位した電位を実測値から差し引かなければならない。猪股ら<sup>4)</sup>は、安静時唾液の全電解質濃度は約50mMであり、刺激時唾液のそれは約100mMであることを報告した。唾液に含まれる全電解質の濃度を食塩の濃度に置き換え、安静時唾液と刺激時唾液の間に発生する電位差の最大値を8mV(Fig. 3)として、起電力( $Y_3$ )と唾液濃度(X)の関係式を求めると次のようになる。

$$Y_3 = -26.5 \log X + 45.1 \quad (3)$$

しかし、この $Y_3$ には、上述のバイアス電位が

含まれている。したがって、バイアス電位を差し引いたときの起電力 (Y) は (3) 式から硬質ろ紙No4Aを用いた場合の (2) 式を引き算することにより求められる。つまり

$$\begin{aligned} Y &= Y_3 - Y_2 \\ &= (-26.5 \log X + 45.1) - (-9.44 \log X + 16.15) \\ &= -17.06 \log X + 28.95 \quad (4) \end{aligned}$$

となる。(4)式にしたがって、Fig 3Cの実測した各点を補正すると、Fig 4Bの点線で示すようになり、最大値は5.2mVになった。この点線で示した値の方が実線で示した実測値より真の値に近いものと考えられる。しかし、補正した最大値は、耳下腺開口部の電位の最大値 (11mV, Fig 4A) の約1/2の低い値を示すにすぎなかった。この差は、安静時唾液と刺激時唾液の間に発生する電位差の測定法を改良することによって、耳下腺開口部で測定できる電位に近似するものと考えられる。いずれにしても安静時唾液と刺激時唾液との間に存在する電位差は、単に両唾液中の電解質の濃度差のみに依存するのではなく、唾液中に含まれている全ての陽イオンと陰イオン濃度の差、すなわち猪股ら<sup>4)</sup>が述べているtotal chargesによって惹起されるものと考えられる。

## 結 語

濃度差のある溶液間の電橋にろ紙を用い、ろ紙の種類と電位差の大きさの関係を検索し、以下の結果を得た。

1) 電解質の濃度に差がある溶液の間を連絡する電橋にろ紙を用いると、電位差が存在することが確認できた。この電位差は電気回路中のバイアス電位 (Bias voltage) に相当すると考えられる。この電位差は、濃淡電池と同

様の機序に因って発生するものと思われる。

- 2) 電橋に寒天 (生理的食塩水で溶解し、固めた) を用いた場合には、電位差はほとんど認められなかった。この結果は、溶液内のイオンが寒天の電橋を移動しないことに因ると考えられる。
- 3) 電位差の大きさは、ろ紙の種類によって著しく異なった。このことは、ろ紙の種類によってイオンの移動性が異なることを示唆する。
- 4) 採取した安静時唾液と刺激時唾液、ならびに唾液と生理的食塩水の間にも電位差が存在した。これらの結果から、電位差を発生する要因が用いた溶液自体に存在すると考えられる。

## 文 献

1. 猪股孝四郎, 鈴木光代, 星 和明, 倉橋昌司 耳下腺唾液分泌と電位変動について IV. 耳下腺開口部における電位変動と採取唾液—生理食塩水との間の電位経過との関係. 東日本歯誌 11(2): 29(189)-33 (193), 1992
2. Inomata K, Suzuki M, Hoshi M, Kurahashi M The relation between electrical changes on the papilla parotidea and ion concentration of saliva Jpn J Physiol 43 S140, 1993.
3. 猪股孝四郎, 鈴木光代, 星 和明, 太田 勲, 倉橋昌司. 電極の違いが唾液分泌電位の記録に及ぼす影響. 歯基礎誌 36 (補冊) 106, 1994.
4. 猪股孝四郎, 高桑光代, 岩瀬恭子, 倉橋昌司 耳下腺唾液分泌と電位変動について III. ヒト耳下腺の分泌電位とその唾液中のイオン (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, H<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 濃度との関係. 東日本歯誌 3 (2) 47 (161)-53 (167), 1984.
5. Inomata K, Suzuki M, Hoshi M, Kurahashi M Effect of tongue stimulus intervals on the salivogram and salivary flow rate and ion concentrations Jpn J Physiol 42 S108, 1992.