

〔原 著〕

不分極性電極の特性について

猪股孝四郎, 太田 勲, 石井 久淑, 佐々木啓子*, 倉橋 昌司**

北海道医療大学歯学部口腔生理学講座
*北海道医療大学薬学部衛生化学講座
**北海道医療大学看護福祉学部基礎生命科学講座

(主任: 猪股孝四郎教授)
*(主任: 羽賀 正信教授)
**(主任: 倉橋 昌司教授)

Properties of non-polarizable electrode

Koshiro INOMATA, Isao OOTA, Hisayoshi ISHII,
Keiko SASAKI* and Masashi KURAHASHI**

Department of Oral Physiology, School of Dentistry, *Department of
Hygienic Chemistry, Faculty of Pharmaceutical Sciences, and
**Department of Medical Science, School of Nursing & Social Services,
Health Sciences University of Hokkaido

(Chief: Prof. Koshiro INOMATA)
*(Chief: Prof. Masanobu HAGA)
**(Chief: Prof. Masashi KURAHASHI)

Abstract

Properties of non-polarizable electrodes, like the amplitude of polarization potential and its stability, were examined for Thread-E, Thread-E₀, Pt, Ag-AgCl, and Ag-AgCl (NT.211U) electrodes. Of these non-polarizable electrodes, the Thread-E electrode showed the minimum amplitude of polarization potential and good stability of polarization potential. It was concluded that the Thread-E electrode is superior in experiments on changes in electrical potential following salivary secretion. There were differences in the amplitude of polarization potential and its stability between the Ag-AgCl and the Ag-AgCl (NT-211U) electrodes. These differences were attributed to the manufacturing process of the electrodes.

Key words: non-polarizable electrode, polarization potential, Ag-AgCl electrode.

緒 言

生体の電気現象を導出する場合には, 不分極性に優れた電極 (不分極性電極) が必要となる^{1),2)}。しかし, 最近では不分極性電極の特性についてはあまり考慮されていない。不分極性電極の特性とは, 生体や生理的塩溶液に電極を接したときの分極電位 (不正電位, 起電圧) の振幅, 電位の安定性などである。一般に, 不分極性電極の特性は生理的塩溶液あるいは生理的食塩水が静止状態にある場合についてのみ検討されており, 溶液が流動している場合については検討されていない。

我々はこれまでに舌背を酸で刺激し, 耳下腺から唾液が分泌される時に発生する電位の特徴について報告してきた^{3),4),5)}。すなわち, 舌背刺激時の唾液に含まれている各種イオンの濃度ならびに唾液分泌速度 (流速) は刺激後の時間経過とともに変化することを明らかにした。この様に溶液が移動したり, 濃度が変化したりする場合には, 特に不分極性ならびにその安定性に優れた不分極性電極が必要になる。

本論文では, 入手できた 5 種類の不分極性電極のうち, どの電極が唾液分泌量が時間とともに変化する場合の電位変化を最も忠実に測定できるかについて検討した。

実験方法

実験には入手し易い白金電極, 銀-塩化銀電極および細いビニール管を加工した電極を用いた。白金電極は, 直径約 0.2mm の純白金線 (以下 Pt 電極と略す) である。銀-塩化銀電極としては自作のものおよび市販のものをを用いた。自作の銀-塩化銀電極は直径約 0.2mm の純銀線に塩化銀を鍍金したものである (Ag-AgCl 電極と略す)。市販のものは直径 8 mm の皿電極 (Sintered Ag-AgCl Miniature Skin Electrode, NT-211 U, 日本光電) の銀-塩化銀電極 (以下 Ag-AgCl

(NT-211U) 電極と略す) を用いた。細いビニール管を加工した電極としては, 直径約 1 mm のビニール管に脱脂木綿糸を留置したものに生理的食塩水 (以下生食水と略す) を満たし, ビニール管の一端は電極糊を用いて上述の Ag-AgCl (NT-211U) 電極に接着し, 他端を試験溶液に接するようにした。木綿糸の断端がビニール管の切断面より内側に 1-2mm 引き込んだ状態にした電極 (Thread-E 電極と称す) および木綿糸の端がビニール管の切断面より逆に外側に突出した状態にした電極 (Thread-E₀ 電極と称す) の 2 種類を用いた。なお, 木綿糸を留置することによる電導性の低下を防ぐためである。

試験溶液としては食塩水 (0.9%, 154mM NaCl, 生理的食塩水, 生食水; 0.59%, 100mM NaCl; 0.03%, 5 mM NaCl) を用いた。また, 実験溶液が約 10ml/min の速度で流れる装置も用意した。

電位変化は微小電極用前置増幅器 (MEZ-7200: 日本光電) ならびに主増幅器 (180system: 三栄測器) を用いて増幅し, 熱ペン式記録器 (8K14-2-S: 三栄測器) を用いて記録した。

結 果

まず, 生体に不分極性電極を接した時の分極電位を測定するにあたり, 体液に溶解しているイオンの濃度がほぼ一定で, しかも静止状態にある場合を想定し, Fig. 1 の左に示す装置を用いた。すなわち, ガラス板 (4×5cm) に Thread-E, Thread-E₀, Pt および Ag-AgCl の 4 種類の電極を固定し, このガラス板を生食水に静かに入れたり (約 5 分間), 出したり (約 2 分間) した。それぞれの電極により記録された電位の時間経過を Fig. 1 の右に示す。Thread-E 電極および Thread-E₀ 電極では, これらを生食水に入れた時にはほとんど電位を発生しなかった。つまり分極電位を発生しなかった。

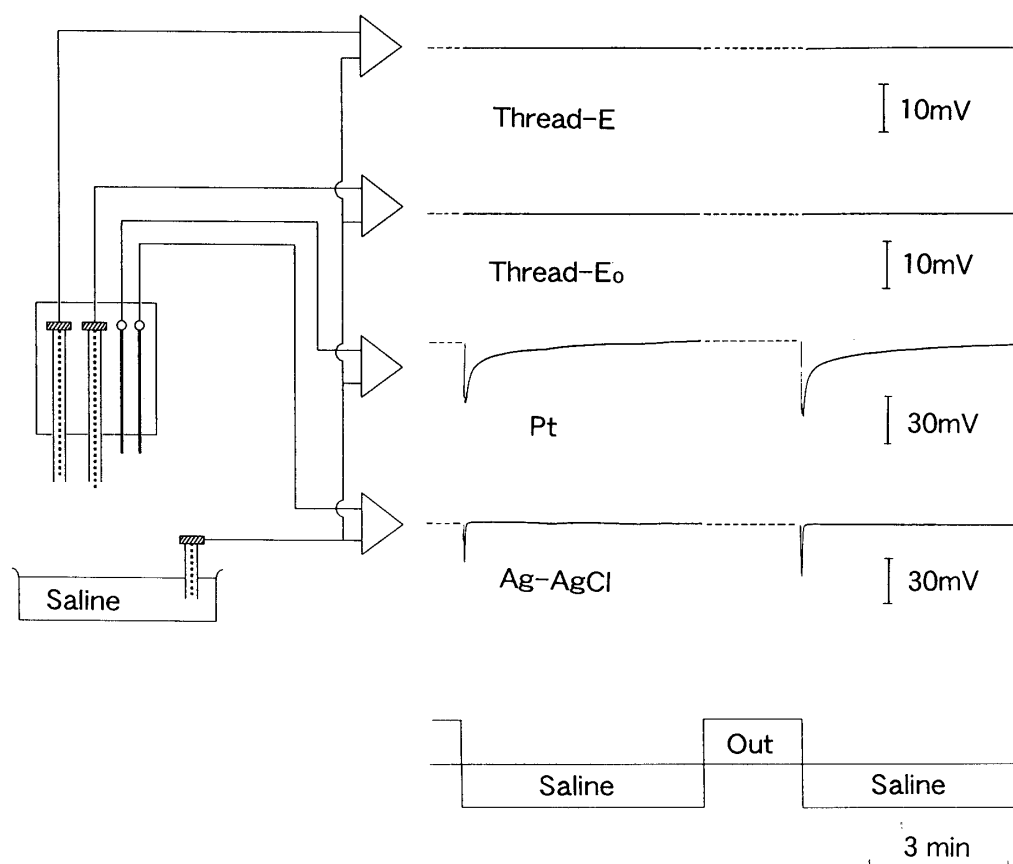


Fig. 1 Potential changes recorded with several non-polarizable electrodes.

Thread-E and Thread-E₀: A thin vinyl tube (about 1mm in diameter) with a defatted cotton thread inside, filled with saline. One end of this tube and a Ag-AgCl (NT-211U) electrode pasted with an electrode post, and the Ag-AgCl (NT-211U) electrode connected to the input (+) post of a DC amplifier. The other end of the tube was placed on a subject. Thread-E electrode: the tip of the cotton thread was 1-2 mm inside the cut end. Thread-E₀ electrode: the tip of the cotton thread protruded 1-2 mm outside the cut end. Pt electrode: pure platinum wire (about 2 mm in diameter). Ag-AgCl electrode: pure silver wire (about 0.2 mm in diameter) coated with silver chloride (hand made). Saline: physiological saline solution.

These electrodes were immersed in saline for about 5 min and pulled out for about 2 min, then again immersed in saline for about 5 min.

Ag-AgCl電極では、生食水に入れた直後に一過性（約10秒間）の電位の変化を示したが、その後は安定していた。したがって、生食水に電極を入れた直後を除けば、Thread-E、Thread-E₀およびAg-AgClの各電極はわれわれの唾液分泌時の電位測定に関する実験に使用できると考えられる。一方、Pt電極を生食水に入れた時の電位変化は、直後の約1分間は大きく、その後はゆっくりと変化し、5分後でもなお減少を続け安定しなかった。したがって、Pt電極を用いて実験する場合には、電極を装置後少なくと

も5分以上経過してから電位測定を開始する必要があると考えられる。この場合に不関電極（indifferent electrode）としてThread-E₀電極、Pt電極あるいはAg-AgCl電極等を用いることができるが、以下の実験から明らかなようThread-E電極が最も安定していたので、本実験においてはすべて不関電極としてThread-E電極を用いた。

次に濃度の異なる食塩水に、これらの不分極性電極を入れた時の電位変化を調べた。この実験では銀-塩化銀電極でも自作のものと市販の

ものとでは分極性に差があると考え、Thread-E, Thread-E₀, Pt, Ag-AgClの4種類の電極に加えて、市販のAg-AgCl(NT-211U)電極も用いた。これらの電極をFig. 1の場合と同様のガラス板に固定し、これを100mMの食塩水に約5分間入れた後、約2分間食塩水から出し、次に5mMの食塩水に5分間入れた時の電位の変化をFig. 2に示す。この実験によれば、Thread-E電極における電位の変化はFig. 1に示した結果とほぼ同じであった。Thread-E₀電極を濃度の低い食塩水(5mM)に入れた直後の電位と5分後の電位の間には約1mVの差しかみられなかった。Pt電極は濃度の高い食塩水に入れた時も、低い食塩水に入れた時も電位の変化がみら

れたが、濃度の高い食塩水に入れた時の方が電位の変化は小さかった。また、Ag-AgCl電極では濃度の高い食塩水に入れた時と低い食塩水に入れた時とでは発生した電位に約45mVもの大きな差異がみられたが、電位自体はほぼ安定していた。一方、市販のAg-AgCl(NT-211U)電極では、濃度の高い食塩水中で発生した電位と低い食塩水に入れた直後に発生した電位との間には約10mVの差しかみられなかった。また、Ag-AgCl(NT-211U)電極では、食塩水の濃度の高低にかかわらず、食塩水中の電位は緩徐な時間経過で変化した。このように同じ銀-塩化銀電極でも作製法が異なると、食塩水の濃度の違いにより発生する電位および安定度に顕著な差異

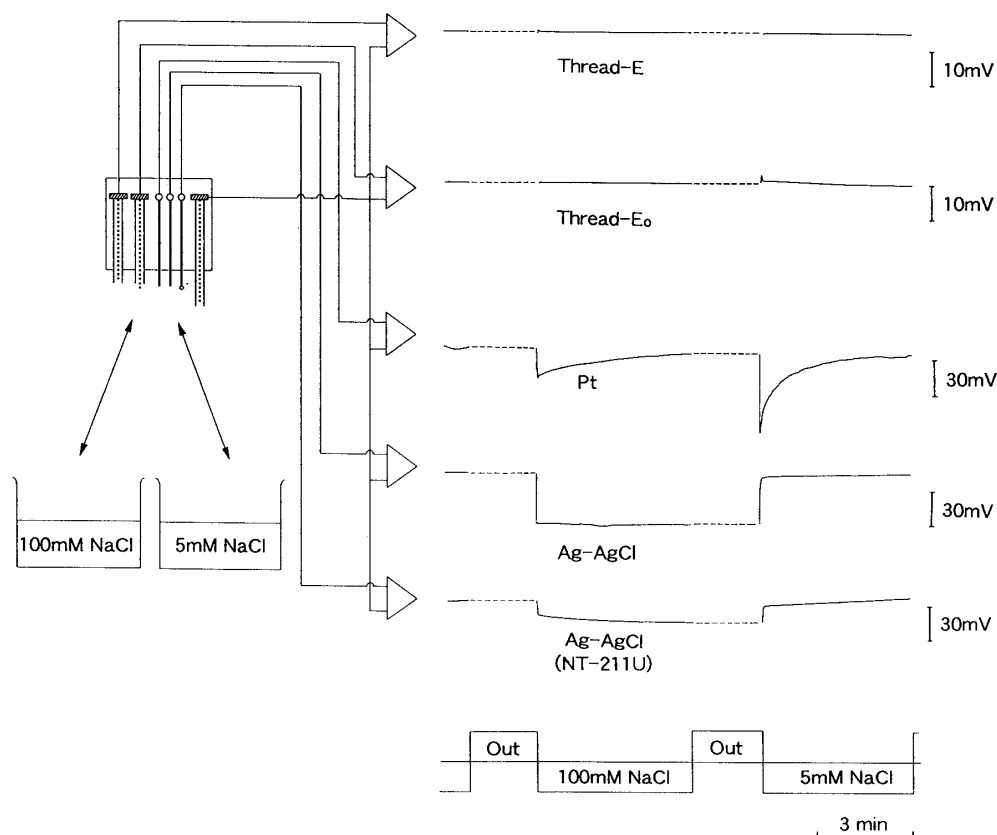


Fig. 2 Effect of different salt concentrations on the amplitude of the polarization potential.

Thread-Electrode, Thread-E₀ electrode, Pt electrode and Ag-AgCl electrode: legend of these non-polarizable electrodes are as in Fig. 1. The Ag-AgCl (NT-211U) electrode is a Ag-AgCl Miniature Skin Electrode, NT-211U, NIHON KOHDEN (about 8 mm in diameter).

These electrodes were soaked for about 5 min in 100 mM salt solution, pulled out for about 2 min, and then again immersed for about 5 min in 5 mM salt solution.

が認められた。上述の二つの実験は、いずれも溶液が静止状態にある場合についてであった。

次に、イオンの濃度が異なる溶液を交互に流した場合に各不分極性電極がどのような応答を示すかについて調べた。この実験の装置の略図ならびに結果をFig. 3に示す。用いた電極はFig. 1の場合と同じく、Thread-E, Thread-E₀, PtおよびAg-AgClの4種類の電極であった。Fig. 3の左の略図に示すように、各電極を食塩水の流れに直接に接するように装置した。その時の食塩水の流速は、約10ml/minに設定した。Thread-E電極は濃度の異なる食塩水を流しても、電位の変化はほとんど認められなかった。

Thread-E₀電極では溶液の濃度を変化させると約10mVの電位の差が現れ、その後この電位は緩徐な時間経過で減少した。Pt電極でも食塩水を低濃度から高濃度に変えると約15mVの鋭い電位変化が出現したが、この電位もその後

ゆっくりと減少した。Ag-AgCl電極では溶液の濃度を変えると約40mVの大きな電位の変化がみられ、この電位は緩徐な時間経過で変化した。以上の結果は、濃度の異なる溶液が流れる状態で実験を行う場合にはThread-E電極が適切であることを示している。

Pt電極とAg-AgCl電極は生体の電気現象を導出するために頻繁に使用されているので、これらにThread-E電極を加えた3種類の電極を同一唾管に装置し、各電極から導出される電位の変化を実際に記録する必要があると考え、以下の実験を行った。その際に用いた装置の略図と電位変化の記録をFig. 4に示す。舌背刺激によりThread-E電極およびPt電極で記録できた電位は刺激後約7秒で頂点に達し、その時点における振幅は14mVであった。一方、Ag-AgCl電極で記録できた電位は約20秒後に頂点に達し、その時点における振幅は約24mVであった。この

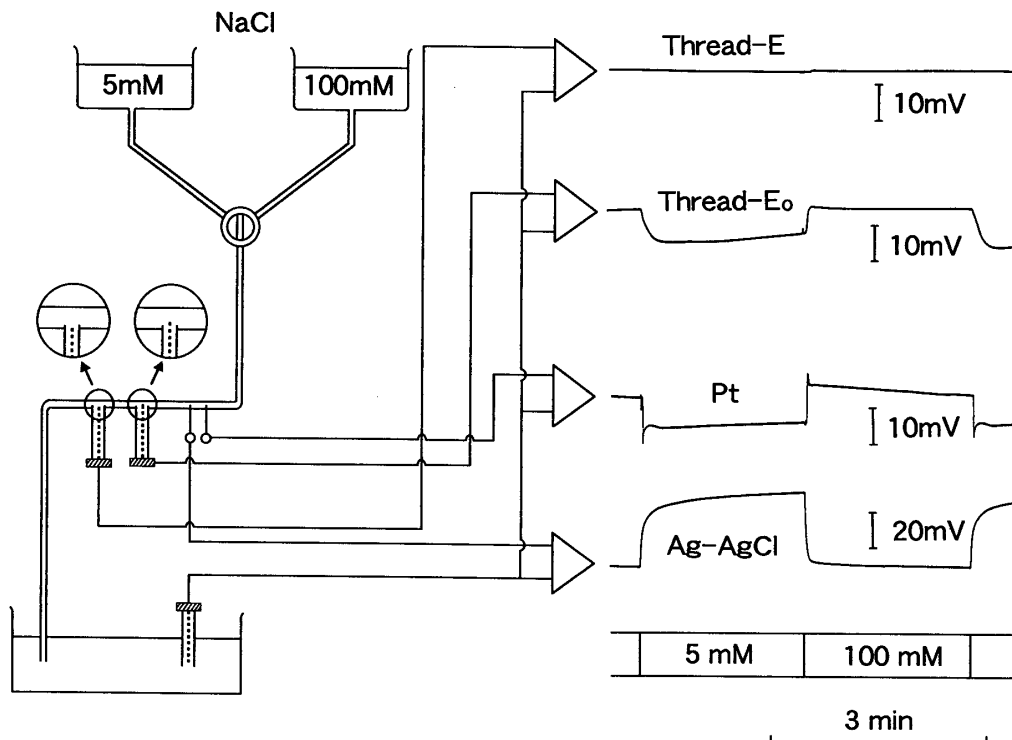


Fig. 3 Effect of flow rate and concentration of salt solution on polarization potential.

Thread-E electrode, Thread-E₀ electrode, Pt electrode and Ag-AgCl electrode: the legend as in Fig. 1. Flow rate of salt solution: 10ml/min. Duration of flow of each solution was about 2 min.

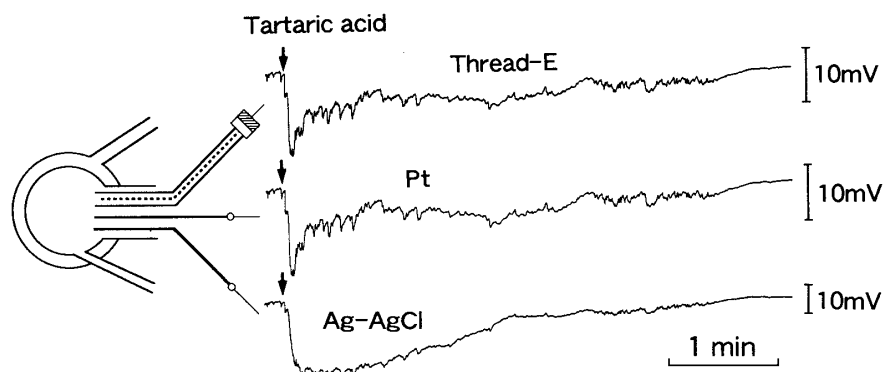


Fig. 4 Electrical changes recorded simultaneously on the papilla parotid with Thread-E, Thread-E₀, Pt and Ag-AgCl electrodes.

Stimulation: Tartaric acid (3%) is spread on the back of the tongue. The schema on left hand shows apparatus for collecting saliva and setting the electrodes. An indifferent electrode was placed on the lobulus auriculæ at the ipsilateral side of the salivary cup.

様にAg-AgCl電極で記録できた電位の頂点はThread-E電極とPt電極に比べて遅く、振幅は大きかった。Thread-E電極とPt電極のそれぞれによって記録された電位の間には、刺激後約1分頃と2.2分頃に無視できる程度の差しか認められなかった。

考 察

生体の電位変化を導出するために用いられる不分極性電極としては幾種類かが知られている¹⁾。本研究では入手しやすい5種類の不分極性電極の特性について検討した。電極が生体に接するときには必ず体液を介している。一般に体液の代用として生食水が用いられているので、優れた不分極性電極としての条件は電極を生食水へ浸漬した時に分極電位が発生しないことは無論であるが、もし分極電位が発生したとしても、その電位の振幅が小さく、しかも安定していることである。

本実験で用いた5種類の不分極性電極について、静止状態の生食水中に電極を入れたときの分極電位について比較すると、Pt電極以外の電極では電位の変動が少なく、実験に用いることが可能であることはFig. 1から明らかである。

しかし、Pt電極でも生食水中に入れた直後には大きな分極電位が発生したが、5分後には安定したので、長時間にわたる電位の変化を測定する実験には使用が可能であると考えられる。

電極を濃度の異なる食塩水に入れたときの電位の変化をみると、電位の変動が少ないのはThread-E電極であった。Thread-E₀電極はこれよりやや電位の変動が大きかった。Pt電極については、溶液に入れて約2分以後では、溶液の塩濃度に関係なく、ほぼ同様な電位の変動を示した。しかし、Ag-AgCl電極およびAg-AgCl (NT-211U)電極について、塩濃度を100mMから5mMに変化させたときの電位の変化は、Ag-AgCl電極では約40mVであったのに対して、Ag-AgCl (NT-211U)電極では約10mVであった。このことは溶液中のイオン濃度が変化するだけでも電極に不正電位が発生する場合のあることを示している。唾液中の各イオン濃度は舌背刺激後の時間経過とともに変化するので、Ag-AgCl電極のような電極は唾液分泌時の電位を測定する実験に用いることは不適當であることは明らかである。

次に、食塩水の濃度が異なり、さらに溶液が移動する(流れる)状態では不分極性電極の分

極電位の発生ならびにその変動はどのようになるかという問題である。この点に対する答えは、Fig. 3にある。すなわち、塩濃度が異なる溶液が移動する状態であっても電位の変動が安定していたのはThread-E電極のみであった。本実験で用いたその他の不分極性電極では10mVから40mVもの大きな電位の変動が認められた。したがって、我々が行っている刺激時唾液の電位変動に関する実験にはThread-E電極が最も適切であり、これ以外の電極は不適切であることが明らかにされた。

Thread-E電極、Pt電極およびAg-AgCl電極の3種類の不分極性電極を同一の唾管に装置し、これらから導出された電位の変化を同時に記録した結果 (Fig. 4)をみると、Thread-E電極とAg-AgCl電極のそれぞれによって導出された波形には相当大的な差異が認められた。この原因は、Fig. 2と3の結果を併せて考えると良く理解できる。すなわち、溶液が流動し、しかも溶液中のイオン濃度が時々刻々変化する場合には、特に優れた不分極性電極が必要であることを示している。一方、Thread-E電極ならびにPt電極のそれぞれによって導出された記録の間にはほとんど差が認められなかった。この理由は現在なお不明である。

以上述べたように、刺激時唾液の電位変化に関する実験にはThread-E電極が最も適切であることが明らかになり、この電極を用いてさらに実験を続行している。

結 語

我々が入手できた不分極性電極、Thread-E, Thread-E₀, Pt, Ag-AgCl, Ag-AgCl (NT-211 U)のなかで、我々の実験 (耳下腺開口部の電位変化の記録) に最も適した電極はThread-E電極であることが判明した。しかし、簡便さではPt電極も使用可能な範囲にあると考えられる。一方、Ag-AgCl電極は溶液の濃度差によっても分極電位の大きさが異なることが判明した。この電極を用いるときは十分な注意が必要である。さらに、このAg-AgCl電極も作製方法の違いによっても分極電位に大きな差異を生じることも明らかにされた。

文 献

1. 本川弘一：電気的実験法，27-30，南山堂，東京，1966.
2. 菊池 真，桜井靖久（編者）：医用工学 (ME) の基礎と応用，91-94，共立出版社，東京，1980.
3. 猪股孝四郎，玉川恭子，高桑光代，倉橋昌司，中村治雄：耳下腺唾液分泌と電位変動について。舌酸刺激時における耳下腺唾液中のイオン (Na^+ , K^+ , Cl^- , H^+) 濃度および分泌速度の変化と電位変化との関係，東日本歯誌，2：137-142，1983.
4. 吉田昌江，猪股孝四郎，鈴木光代，星和明，倉橋昌司：舌背酸刺激時の耳下腺唾液中のイオン濃度と蛋白質量，及び分泌速度の変動，東日本歯誌，9：1-7.
5. Inomata, K., Suzuki, M., Hoshi, M. & Kurahashi, M.: Electrical potential on the papilla parotidea and Na^+ and Cl^- concentrations in parotid saliva and salivary flow rates in human, Jan. J. Oral Biol. 35：13-20, 1993.