

水を吸い嚙み込む場合の消化管内圧変化

(2) 水を吸い嚙み込む場合の消化管内圧変化の概要

昭和35年11月29日 受付

信州大学医学部第二生理学教室

宮 川 清

Intraluminal Pressure Changes During Sucking Followed by Swallowing

(2) The Outline of the Intraluminal Pressure Changes

Kiyoshi Miyakawa

The 2nd Department of Physiology, Faculty of Medicine,
University of Shinshu

緒 言

水を吸い嚙み込む場合の消化管内圧変化の記録実験成績を報告するにあたって、口腔、咽頭、食道と三つの部分に分つて述べるのが妥当と思われる。然しながらこの論文に掲げた成績から明らかなように、嚙下時の極めて規則正しい内圧変化を示す部分は口腔、咽頭、食道にまたがっている。このため初めから各々の部分を切り離して実験成績を報告するよりは、口腔の門歯列から胃迄の嚙下に対する内圧反応の概要を窺えるようにする方が嚙下運動と云うものをより自然に、即ち人為的な区分である口腔とか咽頭とか食道と云つた区分にわずらわされなくて把握することが出来る。むしろこうした態度が嚙下の生理学的研究に欠けていたために、正鵠を失っていた感がある。恐らくこのように羅列して始めて嚙下反射に包含される範囲がわかり、今迄ジャングルであつた部分も整理がつくものと思われる。少くとも嚙下生理に関する限りであるが、この羅列的方法が如何に大切かをしみじみ感じた次第である。

実験方法

卓上のコップより水を硝子管で吸い上げ嚙み込む場合、口腔咽頭並びに食道の内圧変化を門歯列より1㎝刻みに記録を行つた。被検者は高さ50cmの椅子に腰を掛け、高さ76cmの机の前に位置し、机上に高さ20cmの台を置き、その台上コップから長さ20cm内径5mmの硝子管で水を吸い上げる。毎回飲み込む水の量は平均して30c.c.である。圧記録のためには、6 channelの横河製の電磁 oscillograph を使用した。受圧部としては三栄製の strain gauge 受圧部を用いた。受圧部の膜の裏面には抵抗を Wheatstone's

bridge の形に貼附し、この Wheatstone's bridge の1対角は5000 Ω の電流を与え、膜の歪によつて他の2つの対角の間に生ずる電流を電圧変化にし、これを増巾して電磁 oscillograph に導くわけである。受圧部に消化管の内圧を導くには内径1.5mmの厚肉の polyethylene 管を用いた。6個の受圧部に対しては各々6本の polyethylene 管で任意の6ヶ所の消化管内圧を導入した。通常各々が1㎝ずつへだたつた相連なる6ヶ所からの圧を記録したが、その目的には6本の導管の開口部を1cmずつずらして束ねたものを使用した。1本の polyethylene 管の長さは55cmのものを用いた。各々の polyethylene 管を束ねるためには、糸で束ねたりえ manicure を塗布し外面を平滑にしたものを使用した。然しながら被検者にとつて最も嚙み込み易いと言ふ点からは、6本を一平面に並べ、各々の導管をエスダインで貼りつけ、その上に manicure を塗布するのが最も具合がよいであつた。将来この方面に興味を持たれる人々が数多くなれば、このための特別の polyethylene 管を作らせることも可能になるであろう。

この様な管を嚙み込むことは最初比較的困難であるが、次第に馴れて来て局所麻酔など一切行わずに、不愉快な感じなしに嚙むことが出来るようになる。将来受圧部の振動特性が更に高められれば一層細い長い管を使用することが可能になるわけである。

この論文に掲載の記録は6本のものであり、最初門歯列より45cmの所まで先端の導管開口部を挿入した。従つて他の導管の開口部は門歯列から44, 43, 42, 41cmとなる。次の実験に於てはそれを吊り上げて先端導管開口部を門歯列から42cmのところ位置させた。前の記録とは2 channel ずつ重複するようにして描かせ、継時的に行つた6ヶ所からの内圧記録

をたてに列べるときに誤謬の入らないようにした。

実験結果

被検者としては信州大学の医学部の医学生を用いた。第1図は水を吸い飲み込む場合の内圧変化を、6 channel strain gauge manometer で門歯列から1糎毎に記録を行い、口腔から食道上部までの記録を幾分模式図的にして綴り合せたものである。これに依つて吸水、そして嚥下時の口腔、咽頭、食道上部開口部括約筋部、並びに食道の内圧変化の要がわかる。こゝで注意して置かなければならない点は、門歯列より24cm以下の食道内圧の変化についてである。23乃至25cm迄の食道内圧の変化は極めて再現性、並びに規則性に豊んでいるが、それに反してそれより以下の食道内圧変化は再現性、規則性に欠けて居る。こゝに示したのはそのような再現性、規則性に豊んだ部分を示したに過ぎない。

第2図に間隔20秒を以て反覆的に水を吸い飲み込む場合の6 channel 記録の写真を示す。同一記録上の6 channel はそれぞれ6ヶ所の深さの内圧の同時的変化を示している。然しながら各々の記録は離時的のものである。嚥下の時期は記録間で凡そ揃うように並べてあるが、同時性と云うことは同一記録上の6 channel 間のみに通用する。

(1) 水を吸う場合の口腔内圧変化

硝子管を通じて台上のコップから水を吸い上げる時期に相当して口腔前部に陰圧が発生する。この陰圧発生に関与するのはせいぜい門歯列より6乃至7cmであつて、それより深い部分に陰圧は発生しない。この陰圧発生の特徴としては次の点を上げることが出来る。陰圧の下降脚部分は門歯列から4cm迄は共通であり、それより奥の深さでは下降脚部分の発生が順次時間的に遅れてくる。然しながら陰圧の終了曲線即ち上昇脚は、0cmから6乃至7迄の陰圧発生に関与する部分で一致している。同時記録に於てこの各々の深さに於ける同じ増巾率での陰圧曲線を重ね合わせると、下降脚部分の遅れて発生する処は別として、その他の部分は極めてよく符合する。

次のこの解釈について述べる。陰圧曲線を重ねた場合極めてよく符合すると云うのは、舌表面と硬口蓋の間に流体に充たされた空間が出来て、その流体の圧を測定していることが考えられる。この流体の種類であるが、空気が混在している場合にはその弾性によつて下降脚に得てして overshooting が見られる。水を吸うための硝子管々内、並びに口腔内の空気を特に豫め取り除いて同様のことを行う場合には、斯うした over-

shooting を無くし或は少くすることが出来る。そのようなわけで、舌表面と硬口蓋の間に出来た空間は空気と水との混合乃至は水と云う流体によつて占められ、その圧を記録しているものと考えることが出来る。この場合陰圧の発生は門歯列から離れるに従つて遅い。この事実はいかような流体に充ちた空間が次第に後方に拡大して行くことと云うことを考えさせる。

この水を吸う時期に当つては呼吸運動は特別の変化を示していない。

この陰圧発生と吸入された水の量との関係については後続する論文⁽¹⁾にて述べる。

吸水運動に伴う陰圧の発生はせいぜい6乃至7cm迄しか起らない。このことは舌の前部と後部は機能的には別箇に振舞い得るものだと考え方に、一つの根拠を提供する。なおその境界が門歯列より6乃至7cmの処に存在していることを物語っている。

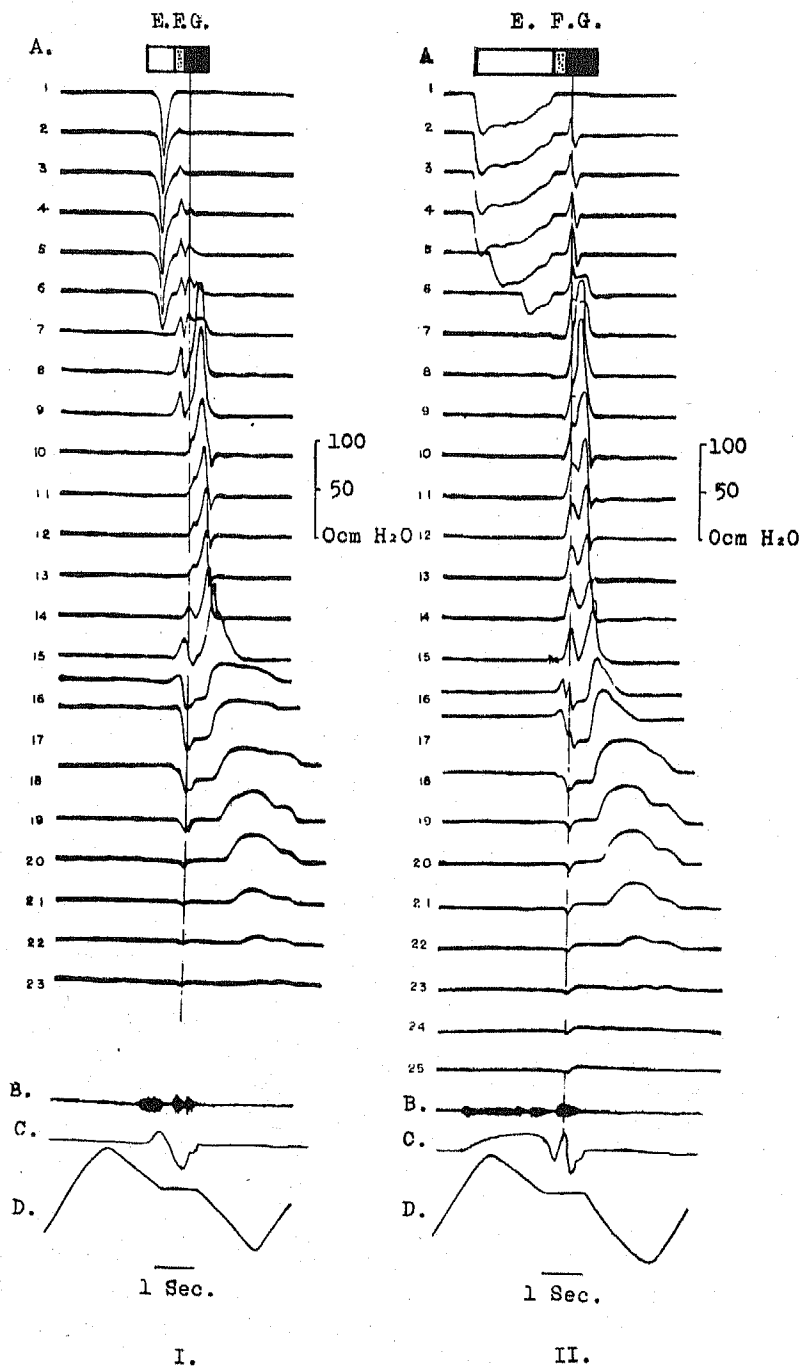
(2) 嚥下準備期

この陰圧発生後、口腔前部の各々の深さに於ては圧が吸水前の高さ、云はゞ control の高さより数 cm 水柱だけ高く維持される。この時期の開始と水の嚥下に伴つて出現する陽圧発生までを、仮りに嚥下準備期と名づける。この場合は口腔前部の各々の深さが数 cm 水柱の陽圧を示すに反し、口腔の後部門歯列から7乃至9cmの深さが、その深さの control の値よりも2~3cm 水柱程低くなる例が見られることがある。

この時期で最も顕著なことは呼吸運動の停止が起ることである。通常この呼吸運動の停止は、この嚥下準備期の開始と一致している。然し極めて稀れ(即ち3000近くの記録のうちで一回)ではあるが、この嚥下準備期中頃から呼吸停止の起つた場合があつた。

この吸水、次いで嚥下する場合の嚥下準備期での圧変化は、以上述べた plateau 状の圧変化が現れるに過ぎない。時たまこの口腔前部に於けるこの plateau に小さな山が現われることがある。この山は奥の方に向つて進む傾向のみられることもあるが、たゞ各々の深さに共通の山として、水柱にして10cm程度の圧上昇が見られるに過ぎないことも多い。このような水を飲み込む場合に対照となるのは dry swallowing の場合である。dry swallowing の場合にはこの嚥下準備期に20cm乃至40cm H₂O 程度の大きな陽圧が生じてのち嚥下運動に伴う陽圧の発生をみる。

以下はこの嚥下準備期に対する解釈である。吸水の時期が終ると、水塊はこの嚥下準備期に、前部口腔から急速に後部口腔に移動する。この準備期の末期には、水塊の先端部分は食道開口部括約筋の深さに迄達することもあるらしい。この証拠が圧記録に現れるこ



第 1 図

吸い呑み込む場合の上部消化管内圧変化

I. dry Swallowing の場合

II. 吸水次いで嚥下の場合

A: この行の数字は門歯列からの深さをcmで示す

B: 下顎下面の皮膚からのE.M.G.

C: 頸屈の変化

D: 呼吸運動曲線

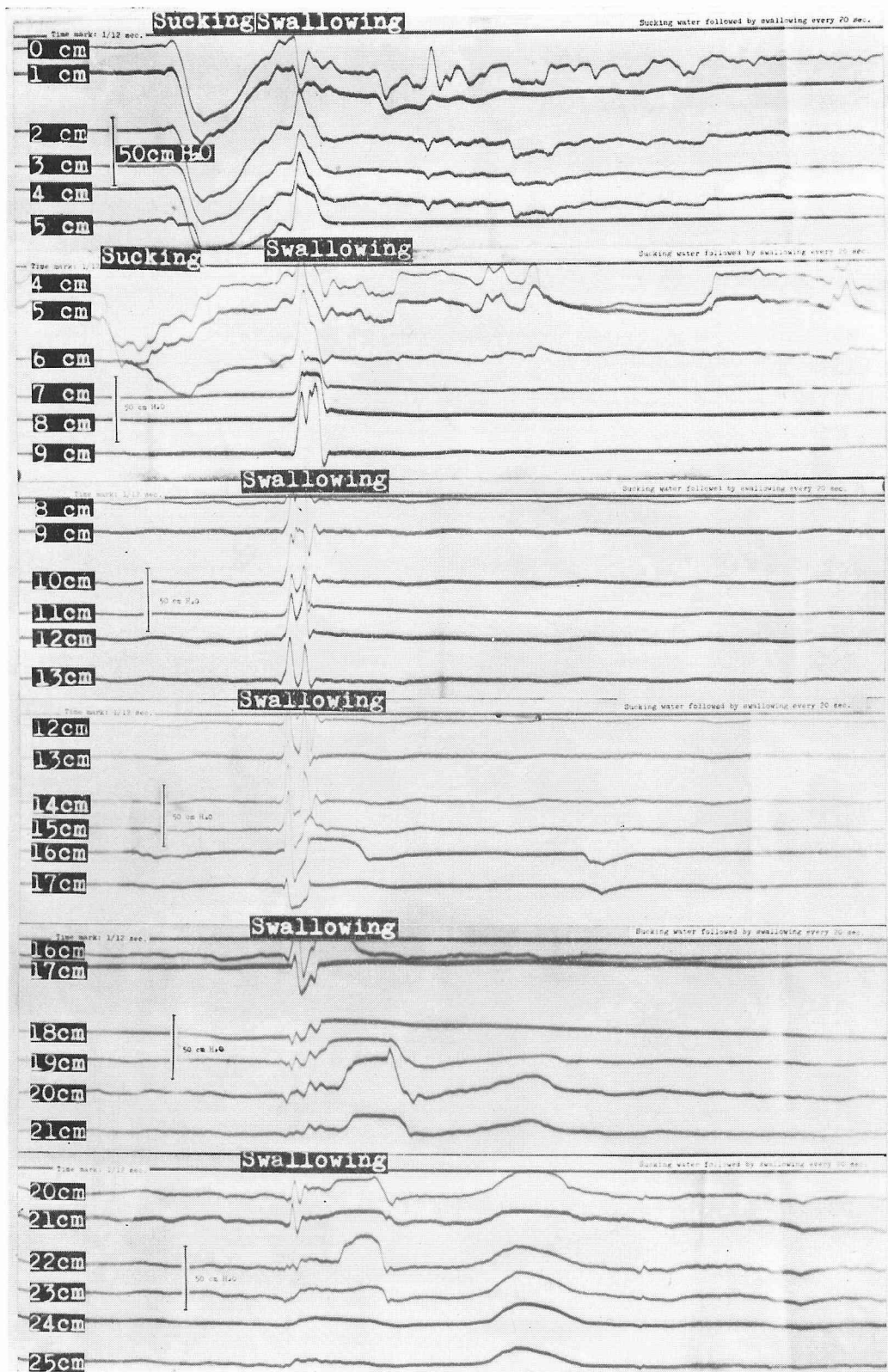
E: I の場合は唾液を口腔内に集める時期

II の場合は机上のコップより

硝子管で水を吸引する時期

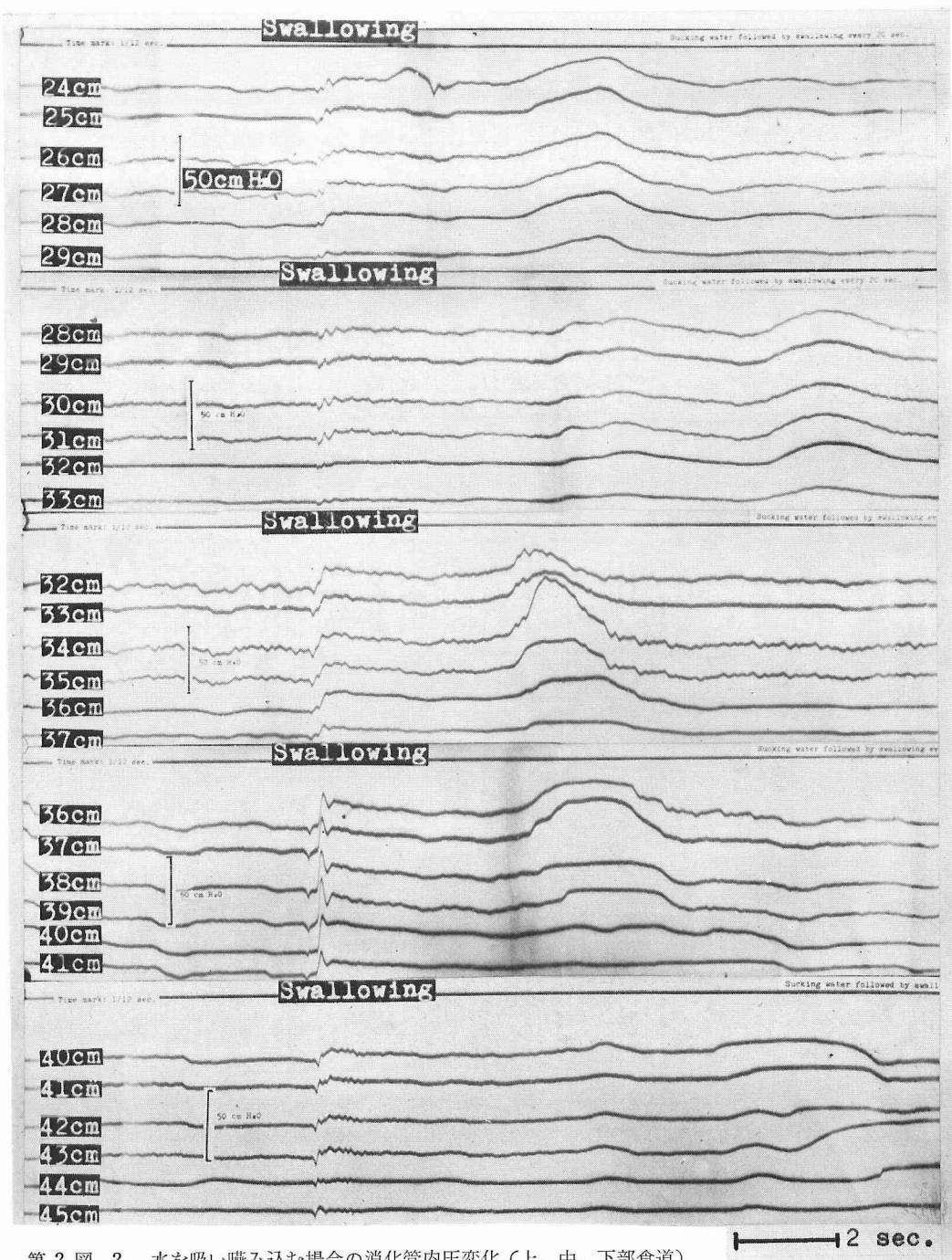
F: 嚥下準備期

G: 嚥下期



第 2 図 1. 水を吸い飲み込む場合の消化管内圧変化 (口腔, 咽頭, 上部食道)

12 sec.



第2図 2. 水を吸い飲み込む場合の消化管内圧変化(上, 中, 下部食道)

第2図説明 左端の数字は門歯列からの深さをcmで現わす。嚥下の正確な開始時点は第1図を参照のこと。
 その他については本文参照のこと。

とがある。即ち食道上部開口部括約筋のある場所からやゝ上の深さで、この時期に相当して splash にもとずくものと解される圧変化が現れることがある。この時期には口腔前部、口腔後部、後になつて咽頭の各深さの導管開口部が次々と水塊にひたされて行く。派手な圧変化の見られないにも拘わらず、水塊の移動のはげしく行われる時期である。この吸水、嚥下の際の嚥下準備期の特徴ある一つの変化として、鼻腔と咽頭腔との間に watertight にとちられたかべの形成が挙げられる。この壁の出来ることは、圧記録のための導管を鼻孔径由で挿入して取らえることが出来るものである。この両腔をさえぎる壁が所謂 Passavant の隆起に相当するものと思われるが、その同定の点は確かではない。しかしこれで水は鼻腔の方に行かないことが納得されるわけである。

次に問題になるのは、この嚥下準備期以後は明らかに反射運動にもとずく陽圧なのであり、一方この嚥下準備期に先行する吸水運動は明らかに随意運動であると云う点である。従つてこの嚥下準備期中に随意運動が反射運動に切り替えられるわけである。この点呼吸運動の停止が問題になるが、この停止の開始時はこの嚥下準備期の開始と殆んどの場合一致する。然しその例外もあることを考慮に入れなければならない。問題は嚥下準備期の開始を以て反射運動の開始と考えてよいかと云うことになるが、これは否である。この嚥下準備期中の運動は随意的に何のようにも調整が行える。実際にこの準備期の長さは、随意的に幾らでも延長し得ることからも云える。これは第2図を参照されれば明らかになる。

(3) 水を飲み込む場合の咽頭内圧変化

嚥下準備期の終りは嚥下反射による陽圧発生を以て劃されている。この時期に当たつて陽圧が口腔前部の各々の深さに於て記録される。その陽圧は形、大きさその他の点について再現性、規則性に缺けていて、その特徴を記し、論ずることが出来ない程である。

然しながら口腔後部から咽頭にかけて、即ち門歯列からの深さで云つて6乃至7cmより奥であるが、此の時期に発生する陽圧はその形、大きさ等、個人差も少く各々の深さについて著しい特徴をもつ。即ち再現性、規則性を俱に備えたものであり、もう1つの著しい特徴として、悉無性 (all or none 性) を挙げることが出来る。云い換えるならば出現する場合には必ず6乃至7cmから咽頭食道開口部の括約筋部迄、それぞれ特徴を持った陽圧発生をみる。

この陽圧の特徴は次のようである。口腔後部、門歯列からの深さで云つて6乃至7cmから9乃至10cm

にかけてはこの陽圧は持続時間凡そ0.45秒の、高さ数十糧水柱の陽圧である。一つの特徴として奥に行くにつれて顕著になる一つの肩を上昇脚上に持つ。9乃至10cmより奥になるとこの上昇脚上の肩は更に深まつて明らかに二箇の峰を持つようになる。この深さから食道開口部括約筋部にかけ、次第に二つの峰の間の谷が深まつて行く。この二つの峰をこゝで仮りに第一の峰、第二の峰と名付ける。この第一の峰と第二の峰とは性質が全く異つて居る。

第一の峰の特徴は次のようである。この第一の峰は口腔後部からはつきりと分離して来る。分離し出してから食道開口部括約筋部迄各々の深さの記録を重ね合せてみると、時間的にも、高さの点からも極めてよく一致している。この持続時間は根もとの処で凡そ0.2秒、高さは30~50cm水柱である。dry swallowing の場合にはこれに相当する圧変化が見られない。またこれを頻回変化と同時に記録することに依つて、咽頭部の最後の挙上と時を同じくして起ることがわかる。

第二の峰にも著しい特徴がみられる。各々1cm隔たつた深さの同時的圧記録を重ね合せたり、或は二現象 Braun 管 oscilloscope によつて任意の二ヶ所の内圧変化の重複像から次のことが見出される。この第二の峰の上昇脚、下降脚ともに明らかな進みを見せること、その進みの現れ方に一つの顕著な特徴のあることである。口腔後部では上昇脚に明らかな進みをみせる。これは咽頭内に於ても見られるが、12乃至13cmの深さのあたりではこの上昇脚の進みが鈍る。進みが鈍ると云うことは、伝播速度が早くなると云うことである。ちなみに進みをみせないと云うことは、同時的に起ると云う意味である。それに反して下降脚は口腔後部から12乃至13cmの深さにかけて殆んど進みをみせない。然し鼻孔から導管を入れて取つた記録では、咽頭の最上部に於ては明らかに下降脚に進みが見られる。下降脚に進みが見られない深さでは、この第二の峰のあとに大きな陰圧性の overshooting が伴つて居る。上昇脚の進みの鈍りが顕著になる深さから、下降脚が極めて活潑な進みを見せ始める。咽頭下部に於ては上昇脚も下降脚ともに顕著な進みをみせる。括約筋部にさしかゝるとこの第二の峰は持続時間を急速に増してくる。このようになると下降脚の後に陰圧性の overshooting を伴わなくなる。

以上の事実から次のことが考えられる。第一の峰は口腔後部から咽頭腔内にある流体、即ち水、或は水と空気との混合物の圧を記録しているものと思われる。これが咽頭の最後の挙上と一致していることは、次のことを考えさせる。即ち咽頭の最後の挙上によつてそ

の流体が消化管壁に圧迫され、このような圧を呈していると考えさせられる。然しこの場合この液体は密閉されているわけではなく、下方に向つて開かれ、且流れている。その証拠には咽頭下部から括約筋部にかけて、第一の峯は高さを急速に減じている。Kronecker 並びに Meltzer は嚥下に際して咽頭は恰も注射器様の働かしをし、液体を食道に射出していると記載している。第一の峯はこの記載に相当しているものと考えられる。

第二の峯は進みをみせると云う事実から、咽頭壁の蠕動波にもとづく内圧変化とみることが出来る。この進みが一定の不規則さを示すのは、挙上されていた咽頭壁が下降することにもとづくものとみる可きで、この解析的研究は後続する論文に譲る^④。

(4) 水を嚥下する場合の食道開口部括約筋部の内圧変化

嚥下を行わない安静時に於ても、門歯列より16乃至17cmの深さでは、30乃至40cm水柱の圧を持つている。咽頭の挙上と俱にこの平静時の圧は下降し始める。圧の下降に先行して高さ数cm水柱或はそれ以上の、持続時間は凡そ0.1秒の陽圧方向への偏向が深さに依つてみられる。

この下降脚の途中に於て、咽頭腔内にみられる第一の峯に引続いた圧変化がみられる。この第一の峯はこの食道開口部に於て急速に高さを減じて食道に於てはもはや追跡出来ない。

咽頭の第二の峯の上昇脚の到着とともに、もとの高さにもどる。第二の峯は食道開口部に近づくに従い、持続時間を増すが、この開口部に於ても伝播性を維持して、上昇脚に明らかな進みをみせる。この括約筋部を通過する間に劇的な変容を受ける。括約筋部を出る時には既に食道特有の蠕動波にもとづく圧変化の形に変わつてしまつていて、咽頭内の第二の峯とは全く異なつたものとなる。

以上の事実をもとにして次のことが考えられる。安静時に於ても一定の圧が存在し嚥下と俱に下降し、またもとに戻ると云うのは、食道開口部に存在する括約筋の作用に帰せしむることが出来る。なお此の際問題になるのは此の部の括約筋が弛緩するのときを同じくして、咽頭壁の挙上が行われることである。従つてこの弛緩曲線にはその方面からの考慮が必要である。此の点についての解析的研究は後続する論文^④で報告する。

この括約筋の弛緩曲線の途中に於て、咽頭内での第一の峯が現われている。この第一の峯が急速に高さを減じていると云うことは、次のように水力学的に解釈

される。この括約筋部はレントゲン写真によると、咽頭挙上時には、開きかけているものの完全ではなく、なお他と比較して内径が細くなつてゐる。その時に當つて第一の峯が出来る。この第一の峯の急速な減高は抵抗の大きな箇所を、他と比較して大きな速度を以て流れていることに起因すると見做すことが出来る。

その後咽頭壁の蠕動波が到達することに依つて、この括約筋部は閉ぢる。この蠕動波にもとづく内圧変化が括約筋部を通り抜ける場合、持続時間並びに伝播方式の点で大きな変容を受けるのは大変興味深い。

(5) 水を嚥下する場合の食道内圧変化

水を嚥下することに依つて、食道内に独特の伝播性を示す圧変化がみられる。

問題をこのような伝播性の圧変化に制限して、この圧変化の再現性、並びに規則性の点から同一の食道でも、門歯列から24乃至25cm迄と、それより奥とは全く異つた振舞いを示す。門歯列から24乃至25cm迄は、実験方法の項で述べた条件のもとで、水を嚥下する場合、極めて規則正しく内圧反応を示す。この内圧反応は従来云われて来た first wave、並びに plateau 状の second wave、伝播性を示す third wave からなつてゐる。この third wave が伝播性であることは、同時に取つた6ヶ所からの内圧記録を重ねてみると、二現象 oscilloscope で2ヶ所からの内圧記録を重ねて撮影すれば明らかになる。こうしてみると、上昇脚が明らかに進みをみせてゐる。然しながら下降脚の方は殆んど同時になつて居り、括約筋部近くで多少の進みをみせるが、それ以下では進みをみせない。即ち各々の深さで終了は同時に起つてゐるわけである。進みをみせる場合もその程度は僅かである。このようなわけで、食道開口括約筋部で起こるときには持続時間が凡そ1.4秒、高さは凡そ20~30cm水柱であるが、次第に持続時間が減ずると共にその高さも減じ、遂に門歯列より23乃至25cmのところまで消滅する。ここ迄の内圧変化は著者が留学中、健康な白人を対象にした場合にでも、日本人の健康な医学生を対象としても極めて再現性、規則性に豊んだものである。然しながらこの食道上部の蠕動波にもとづく内圧変化は咽頭に於ける内圧変化の悉無的なのに比して、悉無性に劣ると云うことが出来る。例えば嚥下間隔が3秒以上であればこの pattern は完全に現われて来て、間隔をこれ以上延ばしたとしても、この深さよりも奥へ入ることとはない。その点は悉無的である。処が嚥下間隔を2秒乃至1秒にしてくると、この pattern は24乃至25cm迄の深さに達せずして消滅する。この点は悉無的とは云えない。

食道上部については以上のものであったが、それより下部に蠕動波にもとずくと思われる圧変化は出て来るが、この上部のそれに比べてその再現性、規則性は劣る。このように再現性、規則性から云つて上部食道と中、下部食道を同一視することは全く不可能である。中、下部食道に於ても第2図に示すように門歯列から32cmの深さからその下の方に向つて、伝播性の内圧変化を見ることが出来る。門歯列から24cmの所で消え、次で低圧地帯が現われ、32cmに到つて再度内圧変化が現われている。この食道中下部の伝播性の内圧変化の出現の時期、並びに出現の深さは相当の変異が、同一個人の成績に於ても、個人間に於て認められる。今の研究段階ではこれが何時、何処から起るか云うことを食道上部程確定性を以て予言出来ない。恐らく今後この方面の研究の進展に伴つて、この中、

下部食道の伝播性の内圧変化催起の諸条件が明らかになるものと思われる。

以上で水を吸い、嚥み込む場合の消化管内圧の変化の概要を述べたが、仔細な点は後続する論文を参照されたい。しかしこの内圧変化の羅列的試みによつて一定の条件での水の吸引、嚥下が何のような内圧変化を示すか明らかになつたものと思う。

本論文の要旨は第37回日本生理学会総会に於て発表した。なお本研究は昭和35年度文部省科学研究費による助成を受けた。記して謝意を表する。

文 献

- ①宮川 清, 信州医誌 9巻, 828, 1960.
- ②宮川 清, 信州医誌 9巻, 834, 1960.