

水を吸い嘔み込む場合の消化管内圧変化

(5) 水を嘔み込む場合の食道内圧変化

—— 反覆嘔下時の食道内圧変化 ——

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(5) Intraesophageal Pressure Changes During
Swallowing Water——The Intraesophageal Pressure Pattern During
Repetitive Swallowing——

Kiyoshi Miyakawa

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

緒 言

現在最も広く認められてる方式に従えば、食道蠕動波は primary peristalsis, secondary peristalsis に分類される。前者は嘔下運動により惹き起こされるものと定義され、一般には食道の全道程を下降して行くものと考えられている。後者は食道の局所刺激に依つて起るものと定義されている。こうした現在行われている一般の見解に反対の立場を主張した学者もあつた。然し未だにこれらの問題に対して誰にとつても異論のない決定的な事実を以て、自己の立場を主張した例は見当らない。この点に関して著者の方法で記録した結果について述べる。然しながら水を吸い、嘔み込む場合の食道内圧の概要については既に述べてあるので、本編に於ては特に反覆嘔下時の食道内圧変化について述べる。種々の時間間隔を以て反覆嘔下を行う場合、その間隔によつて食道内圧変化に相異がみられる。このことから食道の peristalsis に対する一つの立場が得られたのでこゝに報告する。

実験方法

被検者としては信州大学医学部の学生を用いた。被検者を高さ 50cm の椅子に腰をかけさせ、高さ 76cm の机に向わせ、その机の上に更に高さ 20cm の台を置き、その台上のコップより長さ 20cm 内径 5mm の硝子管で水を吸い、嘔み込ませる。一回に凡そ 30c.c. を吸い上げ、嘔み込ませるようにした。反覆的に水を

吸い、嘔み込む時間間隔は 3 秒、10 秒、20 秒、30 秒の四種類とした。

内径 1.5mm、長さ 55cm の polyethylene 製の導管を 6 本、開口端を 1cm づつ順次にずらせて束ねたものを径口的にのませ、6 channel の電磁 oscillograph を以て 6 ケ処からの内圧変化の同時記録を行つた。先ず最先端の導管の開口部を門歯列から 45cm の深さに位置させ、そこで 6 回所定の間隔で反覆的に水を吸い、嘔み込ませた。次いで導管束を 4cm 引き上げ、導管の開口部の最先端が門歯列より 41cm になるよう位置するようにした。そこで前回と同じように所定の間隔で、6 回反覆的に水を吸い嘔み込ませた。以下順次導管の先端部を 4cm ずつ引き上げては同様のことを繰返えさせた。従つて 6 ケ所からの食道内圧が同時記録出来るわけであるが、この 6 ケ所のうち上下の 2 ケ所は前後の実験記録と重なつて記録されている。このようにして出来るだけ継時的に行うことからくる記録の非連続性を補うよう努めた。

実験成績

(1) 間隔 20 秒で反覆嘔下を行う場合

この実験成績は先の論文⁽²⁾の第 2 図を参照されたい。

口腔内に於ては水のコップから吸引に伴つて陰圧の発生、続いて嘔下準備期をへて、嘔下運動の開始とともに陽圧の発生をみる。この陽圧の pattern は口腔内特にその前部では再現性、規則性を欠いている。然

しながら口腔後部—門歯列からの深さでいうと6乃至7cmより奥の口腔—から咽頭にかけて極めて再現性に豊かな規則正しい陽圧 pattern が現われてくる。このことについては先の論文に述べたが、かゝる高度の再現性、規則性を持った pattern が何処まで続くかということが本論文の主たる課題である。この実験成績からわかることは再現性、規則性に豊かな pattern は食道開口部括約筋をこえて、更に下に及んでいる。勿論食道開口部括約筋部を境にして pattern の形は一変するが、その一種独特の pattern は門歯列から23cm乃至24cmのところまで消滅する。

嚥下時のみ弛緩する括約筋による独特の圧変化は食道に入ると、所謂 first wave, second wave, third wave からなる典型的な食道の内圧 pattern に変ずる。このうち third wave は蠕動波にもとづく圧変化と見做す可きものである。この third wave の上昇脚は明らかに進みをみせる。これに反し、下降脚は括約筋部近くでは進みをみせるが、下に行くに従って進みをみせなくなる。上昇脚の伝播速度は括約筋部の近くでは10cm/sec.であるが、消滅する間際には1cm/sec.にまで落ちる。下降脚のそれは括約筋の近くでは10cm/sec.であるが消滅する高さに近づくに従って伝播速度は無限大、即ち各々の深さで同時に行われている。従ってこのような特殊な上昇脚と下降脚の伝播方式がつけば、圧の持続時間は次第に短縮して行くわけで、何れかの深さに於いて消滅する運命にある。事実その通りで、23乃至24cmの深さでは、持続時間が短縮すると同時に圧の高さも低くなり、消滅してしまう。これは著者が在米中、白人の被検者に対して同様の実験を行つたが、全く同じような形の pattern が得られた。そしてやはり同じように門歯列から23乃至24cmの深さで消滅した。しかもこの深さまでの食道内圧変化は極めて規則性、再現性に豊んでいて、この程度の間隔での反覆嚥下では、咽頭内圧の規則性、再現性と同じ程度である。この食道上部に於ける特有の内圧 pattern が消滅したその奥が問題であつて、そこに掲げてある例では25cmから31cmまで、6cmの間には蠕動波にもとづく内圧変化はみられなかつた。上の例では20秒間隔で18回水を嚥み込んだにも拘らず、一回も現われなかつた。そこに掲げてある例では門歯列から32cmの深さから別の蠕動波が出現してきているが、これは上に述べた食道上部の蠕動波とはいろいろの点で相違がある。32cmからの蠕動波に於ては上昇脚も下降脚も俱に進みをみせ、奥の深さに於ける程、持続時間が長くなるような傾向がみられる。

この食道上部の蠕動波と、この下に起る蠕動波で最

も著しい相違は再現性、並びに規則性の点に於てである。話しをこの例に限って反覆嚥下を20秒間隔で継時的に6回行わせると、恒に32cmの深さの近辺から同様の pattern が出現する。然しながら、その出現の上限が必ずしも恒に32cmとは限らず32cmから34乃至35cm位の変異がみられた。現に先の論文⁽²⁾に掲げた第2図に於ては28cmから33cmの6つの深さの圧記録に於ては32cmから出現していないが、32cmから37cmの6つの深さの記録では32cmから出現している。このことから再現性の程度が窺われると思う。米国に於て白人を対象とした場合に、この種の蠕動波が門歯列から28cmのところから出現した例を記憶している。このように個人間の規則性にも可成り変異がある。この食道中、下部の蠕動波にもとづくと思われる圧変化も食道上部と同じように first wave, second wave, third wave から構成されて居り、この third wave に相当するものが蠕動波に相当するわけである。

(2) 間隔30秒で反覆嚥下を行う場合

間隔30秒を以て反覆的に水を吸い、嚥み込む場合に於ても、後部口腔から咽頭、食道開口部括約筋までの内圧変化は極めて典型的である。その再現性、規則性、悉無性もまた極めて高度である。食道上部に於ける内圧変化は、間隔20秒での反覆嚥下の項で述べたと全く同じような pattern を示す。即ちこの食道上部の蠕動波にもとづくと思われる内圧変化の伝播の方式、並びにその運命も間隔20秒の場合と全く同じである。上昇脚は上から下へと順次進みをみせているが、下降脚は各々の深さを通して殆んど同時に起つていく。従って当然、持続時間は順次短縮されていくわけである。短縮されるにつれてその高さも低くなつてくる。そして遂に門歯列から24cmの深さで消滅する。第1図に掲げた例に於ては、それより31乃至33cm迄には伝播性の内圧変化はみられていない。しかし34cmの所から伝播性の内圧変化が出現して来ている。この種の内圧変化は再現性、規則性に於て上に述べた食道上部のそれに比べると著しく劣っている。例えば第1図で明らかなように、発現の時期が食進つて、35cm以下の方が早期に出ている。これは継時的に取つた記録のためである。即ち継時的に行われた実験に於てもこの程度の変異があり、再現性に劣ることがわかる。その他食道上部の蠕動波による内圧変化の場合も含めて、これらの内圧変化は所謂 first wave, second wave, third wave から構成されこの third wave が伝播性をもっている。

(3) 間隔10秒を以て反覆嚥下を行う場合

第2図1に示すように口腔内への吸引に伴う陰圧の発生、それにつく嚥下準備期の発現、次いで嚥下に伴う陽圧の発生も特に間隔が10秒であるというための変化はみられない。口腔後部より深さ16乃至17cmの括約筋部までの各々の深さの嚥下に伴う陽圧は極めて典型的である。その再現性、規則性、悉無性も極めて高度である。食道に入つての内圧変化も門歯列から23乃至24cm迄は極めて典型的である。それは伝播性の内圧変化であり、その伝播方式は今迄述べて来たものと相違はない。そして門歯列より24乃至25cmの深さで消滅することにも変りはない。25cmから31cm乃至33cm迄には蠕動波にもとづく内圧変化はみられない。第2図2に於ては、32cmから37cm迄は蠕動波にもとづくのではないかと想像される内圧変化が現われている。この例はいわば例外的なものを故意に示したのである。このような内圧変化のみられたのはこの高さで記録を行いながら嚥下を行つた9回のうちで2回出現したに過ぎない。他の例では第2図2に示したその前後の記録にみられるようなthird waveの出現を欠いたもの許りであつた。このために前後の記録と不連続なのである。他の例に於てであつたが、一度このような伝播性の圧が出現すると、出易くなる傾向がみられた。

第2図2の32cmから37cmの内圧記録は例外的なものであるから、この例の凡その傾向としては次のようにいえる。反覆嚥下の間隔が10秒になると蠕動波にもとづくと思われる内圧変化の出現は、せいぜい24cm迄であつてそれ以下の深さに於ては認められない。然し突発的に、例外的にそれ以下の深さでも現われる。可能性を指摘して置く。

(4) 間隔3秒を以てする反覆嚥下の場合

第2図には門歯列から12cmより奥の圧変化を示してあるが、口腔内圧並びに咽頭上部の嚥下時の内圧変化は極めて典型的なものである。特に嚥下間隔3秒であるということでこれらのpatternに変化は見られない。

食道開口部括約筋部から起る伝播性の内圧変化も今迄述べてきた場合と相違はみられない。

その伝播方式も運命も全く同じであつて、門歯列から23cmの処まで存在してその後は消滅する。この内圧変化がfirst wave, second wave, third waveから成り立っていることにも変りはない。

門歯列から23cmの所で消滅してしまつて以後、それより奥の深さに於ては、蠕動波にもとづくと思われる内圧変化はみられない。ここで注意して置きたいことは第3図3に於て35cmから37cmまで圧記録で内

圧変化がみられるのは、3秒間隔での反覆嚥下開始以前に出現して来たものである。その圧変化について起つているものが初めての反覆嚥下実験の記録である。

論 議

その他の条件は同じようにして置いて、間隔のみを3秒、10秒、20秒、30秒と変え、反置的に水を吸い嚥み込む時の口腔、咽頭、食道の内圧変化を記録したわけである。これらの実験成績を通じ、極めて特徴的なことは口腔後部—門歯列からの深さでいつて6cm乃至7cmより奥の口腔—、咽頭腔、食道開口部括約筋部並びに上部食道—門歯列からの距離でいつて23cm乃至24cm迄の食道—に現われる嚥下時の内圧変化は再現性、規則性に著しく富んでいることである。然し悉無性(all or none性)に就いては上部食道の内圧変化は咽頭のそれに劣る。それはこの実験成績には示していないが、反覆嚥下の間隔を3秒より短縮すると、伝播性の内圧の変化の消滅する深さが高くなるからである。

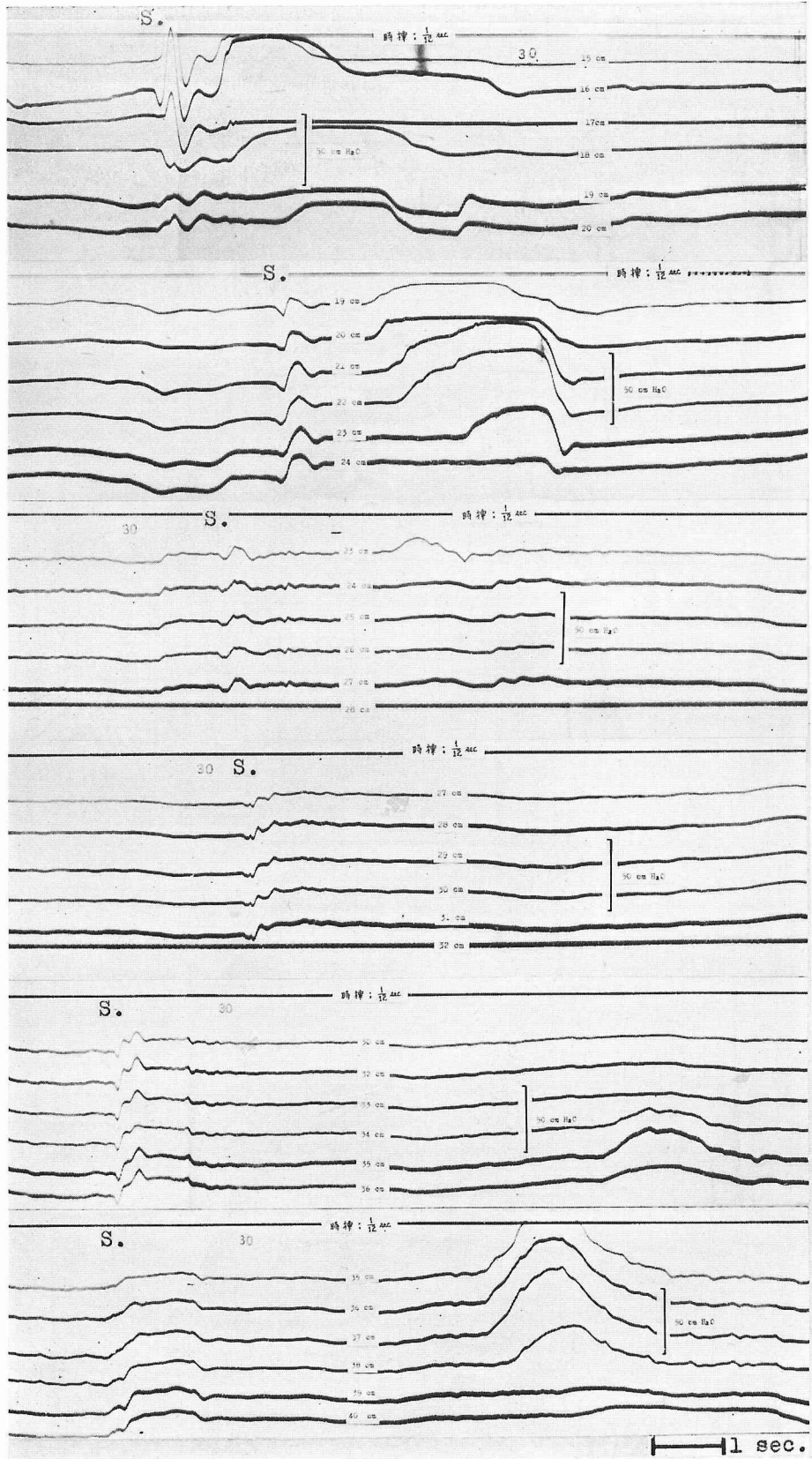
食道に於けるこの高さ迄の内圧反応はdry swallowingの際にも現われてくる。

これに反し、それ以下の食道の水の嚥下に対する内圧反応は、再現性並びに規則性の点に於て劣つてゐることはこれらの実験資料のみをもとにしても断言することが出来る。

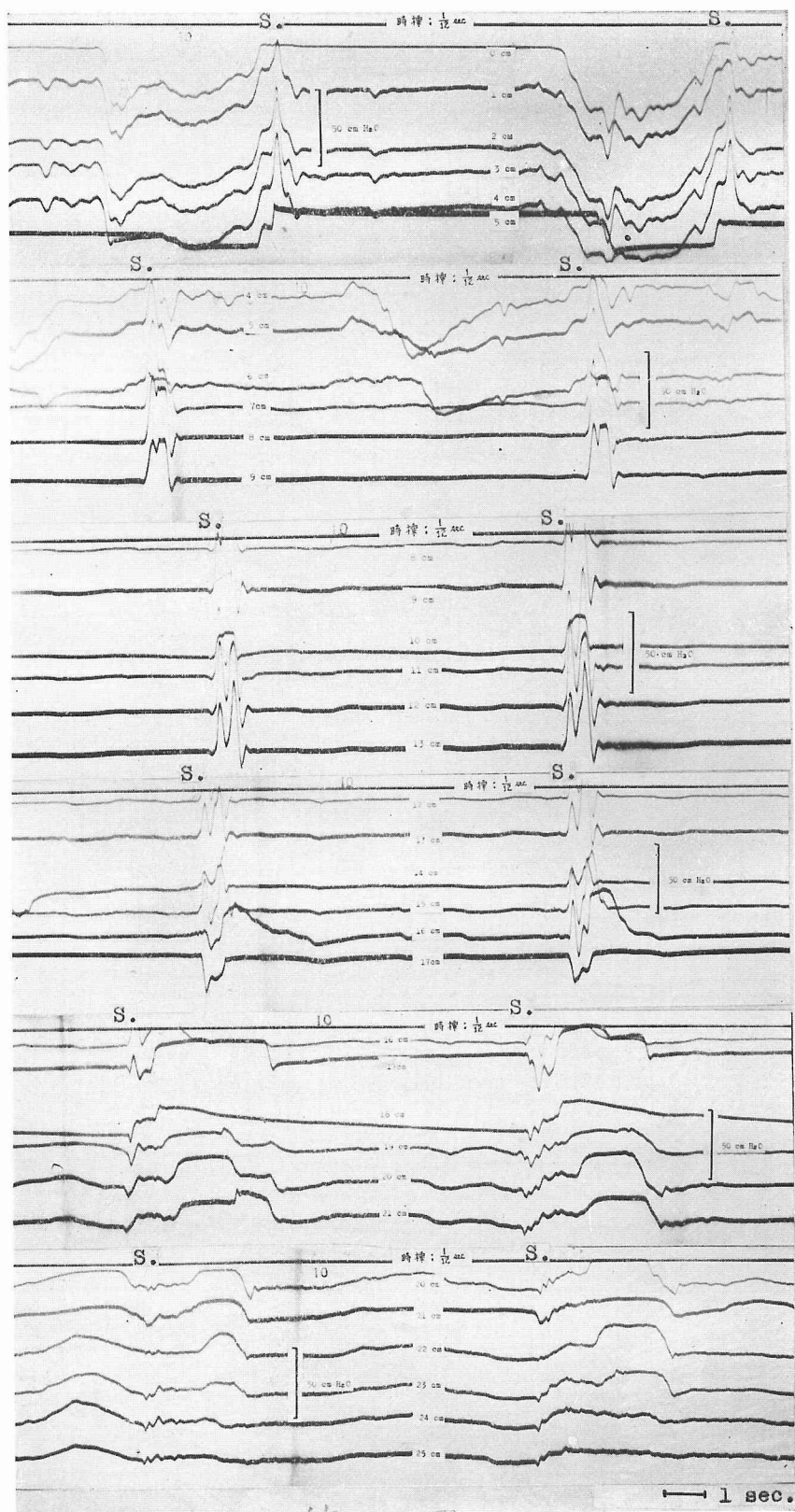
食道の中、下部の嚥下に対する内圧反応の発生条件の全貌が明らかになるには、今後の研究の発展を待たなければならない。然しながら反置的に水を嚥下する場合に、その間隔が大きいということは明らかにこの食道の中、下部の反応の出現を容易にしているということはいえる。従つて食道の中、下部の内圧反応の発生の1つの条件と見做すことが出来よう。

反覆嚥下の間隔と食道内圧発生の問題に関する研究は1883年に既にKronecker並びにMeltzerに依つて行われている^①。そして反覆嚥下の間隔を短くすると食道内に蠕動波がみられなくなり、最後の嚥下の後にのみ蠕動波が現われることを報告している。この現象を発見したKronecker、並びにMeltzerは更に、反覆嚥下に依つて蠕動波を起こさないようにする最大間隔を求めている。即ち上部食道では1.2秒、中部食道では3秒、下部食道では5乃至6秒という値を得ている^①。

その後この現象を電気圧力計を用いて、Sanchez G. C. et. al.^②その他の人々^③が観察を行つている。然しながら特別の意図を以て行つた実験ではなく、

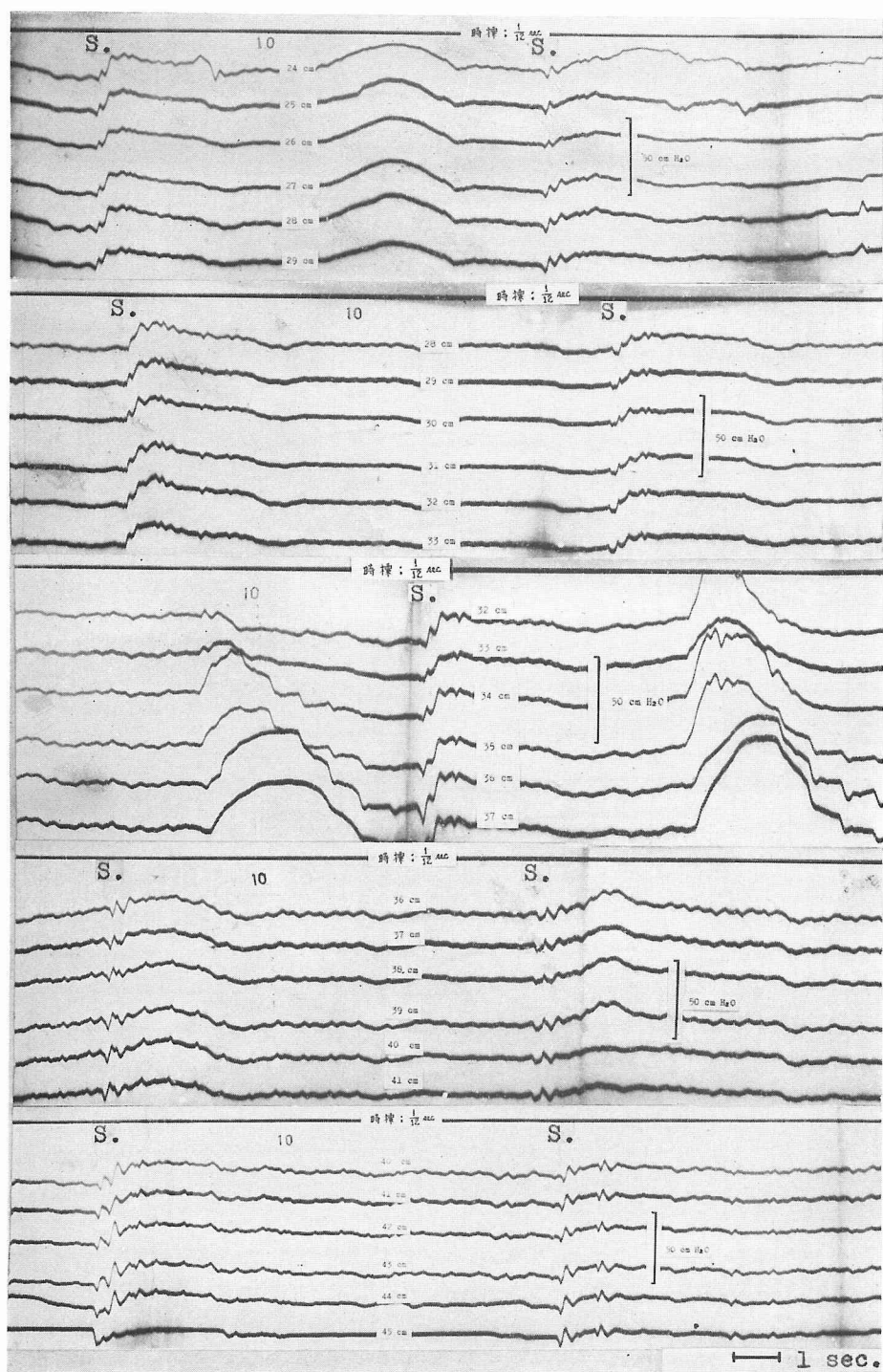


第1図
間隔30秒を以てする反覆嚥下時の消化管内圧変化
説明は第3図の2説明参照



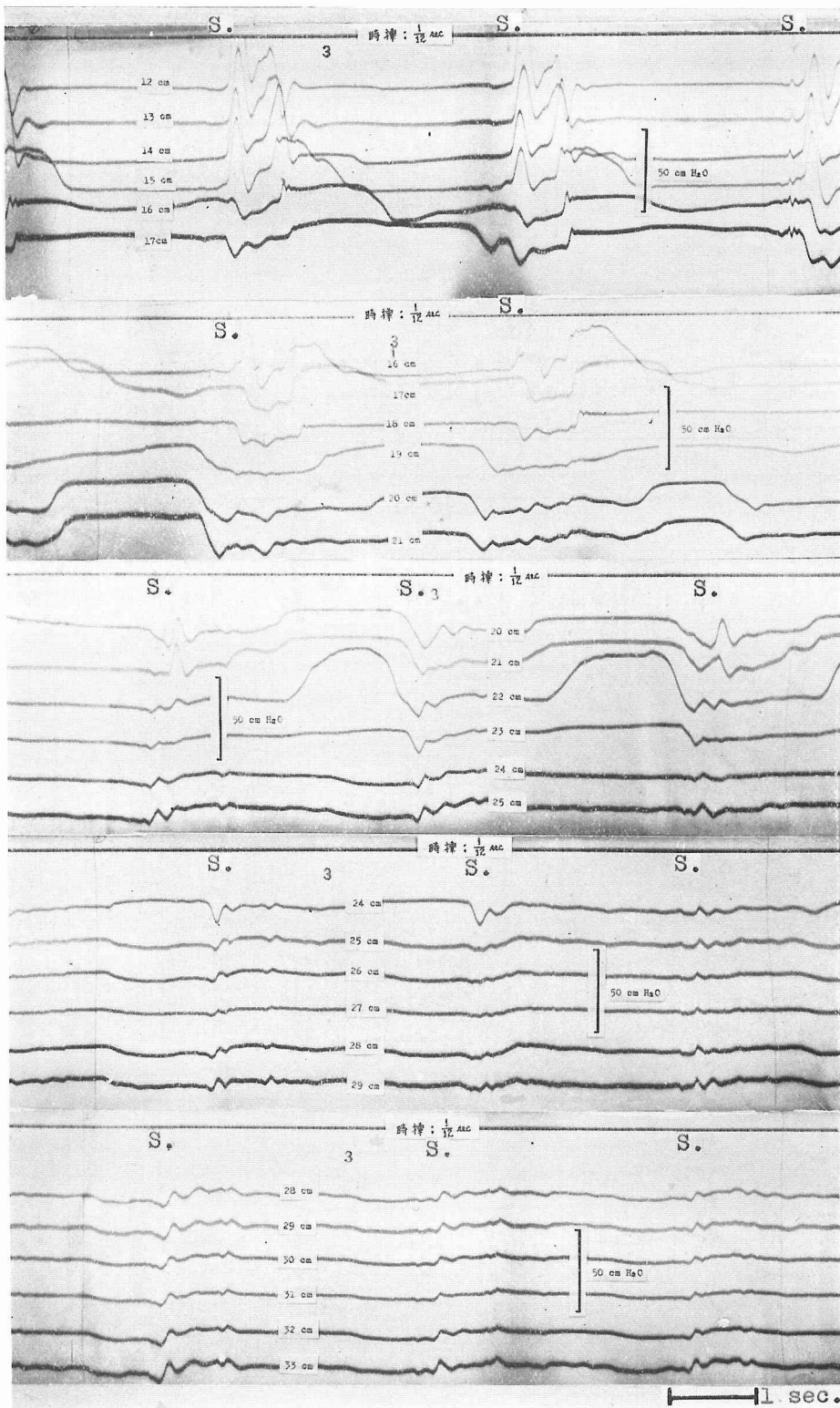
第2図1

間隔10秒を以てする反覆嚥下の場合の消化管内
圧変化（口腔より食道上部まで）
説明は第3図の2説明参照



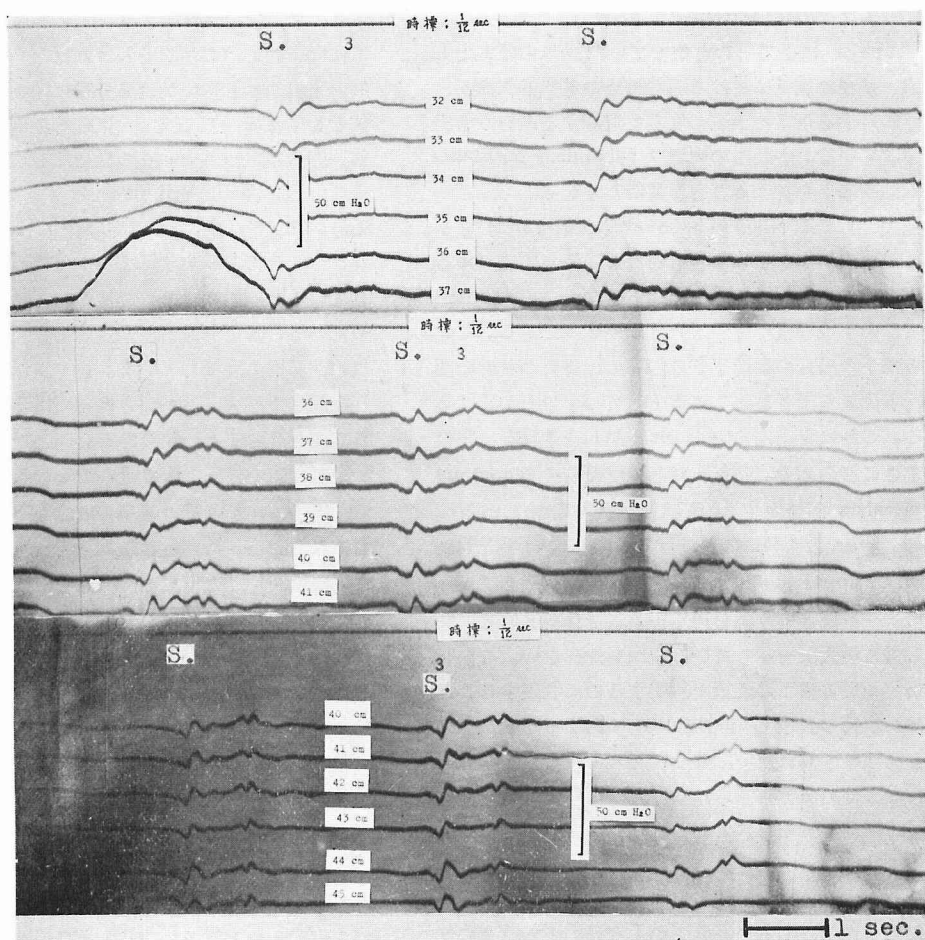
第2図2

間隔10秒を以てする反復嚥下時の消化管内圧変化（上部食道から下部食道まで）
説明は第3図の2説明参照



第3図 1
 間隔3秒を以てする反覆嚥下時の消化管内圧
 変化 (咽頭より食道中部まで)
 説明は第3図の2説明参照

第3図2
 間隔3秒を以てする反覆嚥下時の消化管内圧
 変化（食道中・下部）



（説明） S：嚥下開始時点を示す。
 深さは記録上に門歯列からの距離をcmを以て示す。
 時標は写真上では不明瞭なため下に示す。

Kronecker, 及び Melzer に比肩するような結論に到達していない。従つて Kronecker, 並びに Meltzer の行つた発見は新しい方法で吟味される可く依然として残っている問題である。Kronecker 並びに Meltzer 一派はこの inhibition は舌咽神経によつて運ばれる impulse に依るものと信じていた。この証拠として犬, 並びに家兎に於ける舌咽神経の電氣的刺激が, 嚥下に対する正常の食道の反応を抑制するという事実を挙げている。またこの刺激は secondary peristalsis にも抑制効果を与えることを報告している。

多少とも食道下3分の2の蠕動波の発生条件を与えて呉れるものとして食道内の蠕動波発生に対する critical pressure (臨界圧) なる概念がある^④。しかし反覆嚥下の場合の説明としては不適当である。なお反覆嚥下の場合の食道下3分の2の振舞いの説明に関し, 多少とも参考になる事実としてつぎの点が挙げられる。これは食道内に balloon を吊し, それを一定の大きさに膨らめる。それに対して反覆的に secondary peristalsis が発生するのが人間で観察されている。Hightower は1分に4~6回, Baylis^⑤は1分間に5回, Puppel は1分に3~7回, Ganter^④は1分間に8~12回という値を得ている。これがせいぜい反応し得る最大限を示しているのかも知れない。こうした事実を反覆嚥下の成績を説明するのに利用すること自体が現行の食道の peristalsis に関する定義からすると無理かも知れない。然しながらこれらの定義も新たな実験方法で吟味されなければならない現在としては許されて然る可きである。

この論文に述べた実験成績のみから抑制の機序について立入つた論議を行うことは出来ない。ここに論議を行つて意義のあるのは食道の上3分の1と爾余の部分に一線を劃さざるを得ないという所見についてである。食道上部にあらわれる蠕動波にもとずくと思われる内圧変化について, その上昇脚及び下降脚の伝播方式からみてこの圧変化は必ず何れかの場所で消滅する運命を持つているわけである。現に例外なしに門歯列から24乃至23cmの深さでその消滅が実現されている。そしてこの食道上部の圧変化は少くとも反覆嚥下の間隔を3秒にする迄は再現性, 規則性のはかに悉無性を具えて居り, 明らかに1つの単位的なものということが出来る。

次にこのような一線を劃するのに参考になる点について述べる。

先ず解剖学的な所見について述べる。人間に於ては横紋筋はもつぱら頸部食道にみられ, 平滑筋は下部食道にみられる。その移行部分は大凡上3分の1の食

道と下3分の2の食道との境にある。この筋の移行は外層よりも内層の方が常に高い位置で行われている。然しながら個体差が著るしい^⑦。人間の剖検材料で横紋筋が胃まで全道程にみられるものが少ないながら存在する。なお動物実験での成績を人体に対して参考にするには, 次の点に注意しなければならない。この横紋筋と平滑筋の食道に於ける分布に関して動物によつて著るしい差異のあることである。例えば鳥類, 兩棲類, 爬虫類, カモノハシの食道はもつぱら平滑筋で出来ている。多くの哺乳類例えば犬, 家兎, 鼠, 牛, 羊, コウモリ, 象, ジラフに於ては下部食道に可成りの平滑筋線維がみられはするが, 横紋筋部が胃迄到達している^⑧。この様な点で比較的人間に近い食道を持つてゐるのは猫であるが, この場合でも人間よりは横紋筋部が胃に近接している。従つて以上述べて来たような意味で実験成績が引きあいに出される場合には, 特に注意を要するわけである。

次に食道の神経支配について吟味しなければならない。迷走神経が食道の運動神経であることは Kahn^⑨によつて云われた。然しながら同じ迷走神経でも頸部食道は反回神経の支配を受け, その他の食道は胸部迷走神経幹からの食道枝の支配を受けている^{⑩⑪⑫}。これに対して Hwang^{⑬⑭}は異論を持つており, 犬及猫を含む多くの動物では頸部食道は反回神経の迷走神経幹からの分岐点よりも上部で枝分れする神経によつて支配されていると云う。人間に於てはこのようなものないことが確められている^⑮。然しここに問題になるのは迷走神経の何れの枝が支配しているかと云うことよりは, むしろ延髄の何れの神経核が支配しているかである。疑核 (Nucl. ambiguus) は咽頭壁の横紋筋を支配しているが, こゝからの線維のうちで反回神経を通つて頸部食道を支配しているものもあるらしい^{⑯⑰}。もしも疑核が頸部食道の横紋筋を支配し, 迷走神経背側核 (Nucl. dorsalis n. vagi) が平滑筋部を支配する^⑱とすれば大変すつきりとしたことになる。然し今迄のところではこれを支持する信頼するに足る事実は出ていない^⑲。そののみか誰も疑核の支配が咽頭壁から食道の横紋筋部まで行われているということ動物でも主張している人はいない。

次に問題になるのは Auerbach の神経叢である。この Auerbach の神経叢こそ筋層の間にあつて迷走神経線維と食道の平滑筋への中継所になる神経細胞のある所である^{⑳㉑}。この Auerbach の神経叢の分布は何うなつてゐるかが問題になるわけである。この点について Cannon 並びに Carlson^㉒はいずれも Auerbach の神経叢の神経細胞は平滑筋部, 即ち食道の下

3分の2のところに限って存在していることをみている。このような所見は多くの人々の支持を得ている。Cross²⁰は食道の上3分の1のところには神経細胞が認められないことを報告している。Grevingはこの神経細胞の出現と平滑筋の出現とは場所を同じくして居り、俱に輪状軟骨 (cartilago cricoidea) の下方1横指のところから始まり下部食道に行く程多くなっている事実を報告している。また同じ所見が天竺鼠で確かめられて居る。その場合食道の横紋筋は有髄の迷走神経線維の支配を受けて居り、からだの他の横紋筋に於けると同じような筋神経接合部を持つていることが見られている。

次いで交感神経支配が問題になるが、その起源は多様であるが貧弱である。その走行も恒常性を欠き多くの交感性の線維は神経叢に入る。とくに食道の上下両端に於て豊富である。これの支配対象は形態学的に明らかになつていない。筋か或は壁内又は粘膜下の血管壁が明らかになつていない。

以上の解剖学的、組織学的の所見並びに神経支配の点からしても、食道の上3分の1と下3分の2の間に一線を劃する方が極めて自然である。特に Auerbach の神経叢内の神経細胞の存在から考えて、自働性というものが食道にありとせば、上3分の1よりも下3分の2の方により高度に具備されているように思われる。自働性というものが幾分でもあり、それに以上述べたような自律系に属する神経支配があれば、その神経支配は自働性の調整ということと考える方が生理学上から常識的である。食道上3分の1はこの点神経支配への依存、ひいては中枢神経への依存程度が高いことが考えられる。その結果として嚥下反射に食道が関与することになれば、中枢依存の高い部分が再現性、規則性又は悉無性が生ずるのは当然のことである。一般に今まで食道の蠕動波に関してはその再現性、規則性の乏しい事が嘆かれていたのは、この上3分の1の圧変化を綿密に記録し研究の対象としないで、食道の下3分の2を対象としていたものと考えることが出来る。以上述べた組織学的事実が真実とするならば、食道の下3分の2に多少とも自働性があることが予想される。それに自律神経系の支配があればその運動を促進又は抑制的に働いていると考えるのが妥当である。このような場合には、たとえ同一の原因が与えられても反応に多少の巾のあることは当然想像されてよいのではないかと考えられる。斯うした事情をそのまゝ反映しているような気がしてならないように思われる。今後の課題としてはこの食道3分の2の蠕動波出現の条件を明らかにすることになる。このよ

うに考えて来ると、Mosso 以来の食道の蠕動波の神経支配依存の問題に関しても、食道の上3分の1と食道の下3分の2を別にして考慮し直さなければならないと思われる。このように考えた方がこの問題に関する追試結果上の齟齬を統一的に解釈することが出来ると思われる。

本研究の要旨は第37回日本生理学会総会に於いて発表した。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

- ①KRONECKER, H. and S. J. MELTZER, Arch. Anat. u. Physiol., Suppl. 328, 1883. ②SANCHEZ, G. C., P. KRAMER and F. J. INGELFINGER, Gastroenterology 25:321, 1953. ③DORNHORST, A. C., K. HARRISON and J. W. PIERCE, Lancet 1: 695, 1954. ④GANTER, G., Ztschr. f. Biol. 83: 309, 1925. ⑤BAYLIS, J. R., R. KAUNTZE and J. R. TROUNCE, Quart. J. Med. 24:143, 1955. ⑥PUPPEL, D. D., J. Thoracic Surg. 19:371 1950. ⑦LERCHE, W., The Esophagus and Pharynx in Action Springfield, Ill: Thomas, 1950. ⑧OPEL, A., Lehrbuch der vergleichenden mikroskopischen Anatomie der Wirbeltiere, vol. 2. Jena: Fischer, 1899. ⑨KAHN, R. H., Arch. Anat. u. Physiol.:355, 1906. ⑩KUNTZ, A., The Autonomic Nervous System. Philadelphia: Lea, 1947. ⑪MITCHELL, G. A. G., Anatomy of the Autonomic Nervous System. London:Livingstone, 1953. ⑫MÜLLER, L. R., Die Lebensnerven (2te. Aufl.) Berlin: Springer, 1924. ⑬HWANG, K., Am. J. Physiol. 174: 231, 1953. ⑭HWANG, H. K., M. I. GROSSMAN and A. C. IVY, Am. J. Physiol. 154: 343, 1948. ⑮HWANG, K. and M. I. GROSSMAN, Gastroenterology 25: 375, 1953. ⑯GETZ, G. and T. SIERNES, J. Comp. Neurol. 90: 95, 1949. ⑰BARCLAY, A. E., Brit. J. Radiol. 3:534, 1930. ⑱LENDRUM, F. C., Arch. Int. Med. 59: 474, 1937. ⑲CARLSON, A. J. and A. B. LUCKHARDT, Am. J. Physiol. 57: 299, 1921. ⑳Cross, F. S., Surgery 31: 647, 1952. ㉑宮川 清, 信州医誌 9巻, 820, 1960.