

消化道生理学

[美] H. W. 戴文波特 著

科学出版社

内 容 简 介

本书介绍了有关胃肠道生理学的问题。全书共18章，分为三部分。第一部分，运动：介绍了消化道各部分的运动及其机制；第二部分，分泌：分别阐述了唾液、胃液、胰液、胆汁及肠液的分泌，并分析了消化液分泌的控制；第三部分，消化和吸收：重点介绍了各类营养物质在小肠内的消化和吸收。在各章中还结合临床某些胃肠道疾病的症状，进行了分析。可供生物学、生理学、生物化学及医学工作者参考。

H. W. DAVENPORT

PHYSIOLOGY OF THE DIGESTIVE TRACT

An Introductory Text

Third Edition

Year Book Medical Publishers, Inc. 1971

消 化 道 生 理 学

〔美〕H. W. 戴文波特著

北京医学院生理教研组译校

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

陕西省印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1976年6月第一版 开本：850×1168 1/32

1976年6月第一次印刷 印张：10 1/4

印数：0001—46,450 字数：272,000

统一书号：14031·8

本社书号：554·14

定价：1.10 元

译 者 的 话

本书为美国芝加哥医学年鉴出版公司出版的一套导论性专业教材中的一种，根据第三版（1971年）译出。第三版成书于美国生理学会出版的大型《生理学手册：消化道》（共五卷）之后，较第二版增加了不少内容。总的说来，本书以较小的篇幅，介绍了消化道生理学的基本内容和新进展，可供从事有关消化生理的教学、研究和临床医学工作者的参考。

作者在第三版前言中指出，本书的中心是人体消化道的正常功能。虽然也选用了一些动物实验的资料，但除特别作了声明的之外，这些材料都是可应用于人体的。由于在《生理学手册：消化道》中全面收录了1964—1966年以前的文献，本书介绍的参考文献大多数都是在此后出现的新资料。

西方人的膳食等情况同我国人的差别很大，因此，本书中的某些资料并不切合我国实际。在翻译过程中，只删去了个别与专业内容关系不大的词句，对全书内容未作改动。希望读者按照毛主席关于“洋为中用”的教导，在阅读时加以分析，有批判地进行取舍。

参加本书翻译的人员（以姓氏笔划为序）有：于吉人、于英心、王志均、王德民、朱文玉、阮芳赋、汤健、李伟雄、邱学才、范少光、张友南、梁月华、袁其晓、顾蕴辉和韩济生等同志。王志均和韩济生二位同志担任主要校订工作。由于参加本书翻译的人员较多，虽经校阅，但可能还有译语不统一的情况，译得不当的地方，欢迎读者批评指正。

1974年5月于北京医学院生理教研组

目 录

第一部分：运动	(1)
第一章 咀嚼与吞咽	(1)
第二章 消化道下段的神经肌肉装置	(26)
第三章 胃运动	(52)
第四章 小肠运动	(77)
第五章 结肠运动	(92)
第六章 呕吐	(107)
第二部分：分泌	(111)
第七章 唾液分泌	(111)
第八章 胃液分泌	(127)
第九章 胰液分泌	(165)
第十章 胆汁分泌	(183)
第十一章 肠液分泌	(200)
第十二章 分泌的控制	(207)
第三部分：消化和吸收	(234)
第十三章 胃的消化和排空；吸收	(234)
第十四章 小肠内水分和电解质的吸收	(248)
第十五章 小肠内糖的消化和吸收	(269)
第十六章 小肠内蛋白质的消化和吸收	(282)
第十七章 小肠内脂肪的消化和吸收	(291)
第十八章 结肠的吸收和排泄	(313)

第一部分 运 动

第一章 咀嚼与吞咽

食物是一块一块地摄入口内的，其大小自数立方毫米始；食物在口腔中被弄碎，与唾液混和并受到润滑。咀嚼动作一部分是随意的，一部分是反射性的；但吞咽动作一旦被引起则完全是反射性的。一块5—15立方厘米的食丸从口内食团中分离出来并推向咽部，在此被定型化了的吞咽反射所控制的肌群将它继续下投。由肌肉的收缩所产生的压力推动食丸通过咽下部，并经过咽下括约肌而进入食道。当吞咽时，从咽部通向鼻腔和气管的道路便关闭了，而呼吸则暂时被抑制。在人处于直立体位时，流体的或滑润的食丸在重力的影响下急速地下落；而固体的或粘的食丸则被蠕动波缓慢地推进。食道下括约肌在食丸到达之前开放，而在它通过之后关闭，以防止逆流。胃素可刺激胃酸及胃蛋白酶元的分泌，并能提高食道下括约肌关闭的力量。

咀 嚼

对一口食物咀嚼的程度依动物的种属而异；有些动物，象猫和狗，只将食物嚼碎到刚能咽下的大小。人类，通常将食物嚼碎到数立方毫米大小的颗粒，但对一口食物咀嚼的量与食物的性质、人的习惯、偶然发生的谈话和幼时所受的训练有关。咀嚼的程度对化学性消化过程的影响甚微；但将食物不嚼而咽，经常会引起上腹不适，特别在高度神经紧张时更是如此。

由于咬肌、内侧翼上颌肌（medial pterygoid）和颞肌的收缩对抗了重力的吸引，使颌部通常处于闭合状态。食物触及牙龈、牙齿、硬腭前部和舌的表面所造成的压力刺激了感受器，并产生传入冲动来引起闭颌肌群的反射性舒张，以及二腹肌和翼外

肌的反射性收缩，而使得颌部张开。这样便减小了对感受器的压力，同时，传入冲动频率下降。随之而发生开颌肌群的舒张和闭颌肌的反跳性收缩。在人类，这样一个周期的时间是1秒钟。如果将一个实验动物的下颌分割为左右两半，就会发现这种反射是单侧性的，刺激一侧只引起同侧舒张，继之以收缩，而对侧则不发生这种变化。结果使口内充满食物一侧不对称地承受咀嚼力。然而，随意咀嚼以及由刺激大脑皮层所引起的咀嚼运动是双侧性的和同步的。大多数人在一段时间内将食丸放在口腔的一侧咀嚼，但一些人却把它分作两半在两侧同时咀嚼。

当反射性地咀嚼熟肉时，在一个下颌的臼齿上所受的压力是每平方毫米3.9—15.7牛顿（newton），而在单独一个牙上所负担的垂直压力达70—120牛顿。当咀嚼坚硬的食物时则会受到更高的压力。

吞 咽 时 的 口 部 运 动

消化管通过所产生的压力梯度来推移其中的内容物。在一次吞咽的开始，舌尖从口腔内其余的物质中分离出一个食丸，同时将它带入舌前部与硬腭之间的中线上。此时颌部关闭，而软腭上提。舌的前部紧紧地压在口腔顶部，同时两唇闭合在一起，使口腔的前部封闭。腭与正在收缩的咽腭肌一起，在口腔与鼻腔之间形成一道隔障以防在口腔内产生的压力通过鼻腔而泄散。当运动性成分发生选择性麻痹时（如脊髓灰质炎），食丸则会反流入鼻咽部。当舌头向后卷向舌骨，并逐渐向后压抵软腭时，堆积在舌中部沟中的食丸就被推向口咽部。此时，呼吸发生短暂的抑制，喉头突然上举，而且声门关闭以阻断喉部气道。当声门上升时，会厌便突入正在行进中的食丸的通道上。食丸使会厌向后倾斜，而且随着喉头进一步的上移，会厌向后弯曲直至斜悬于关闭的声门之上。虽然会厌在关闭的声门之上起到一个盖子的作用，它的存在对于防止食物进入气管并不是必需的。即使用外科手术切除了会厌，紧闭的声门还是能封住气道，从而防止了食物的吸入。

在舌的运动所产生的 4—10 毫米汞柱的压力差的推进下，食丸倾落于会厌的上面和周围。由咽环肌构成的咽下部括约肌由于与其相连的结构的上移而被打开，于是食丸以其楔形的前缘通过咽下部而进入食道上部。待食丸通过锁骨水平后，喉头就下降，上呼吸道和声门开启，舌头前移，呼吸重新恢复（图 1）。整个在咽

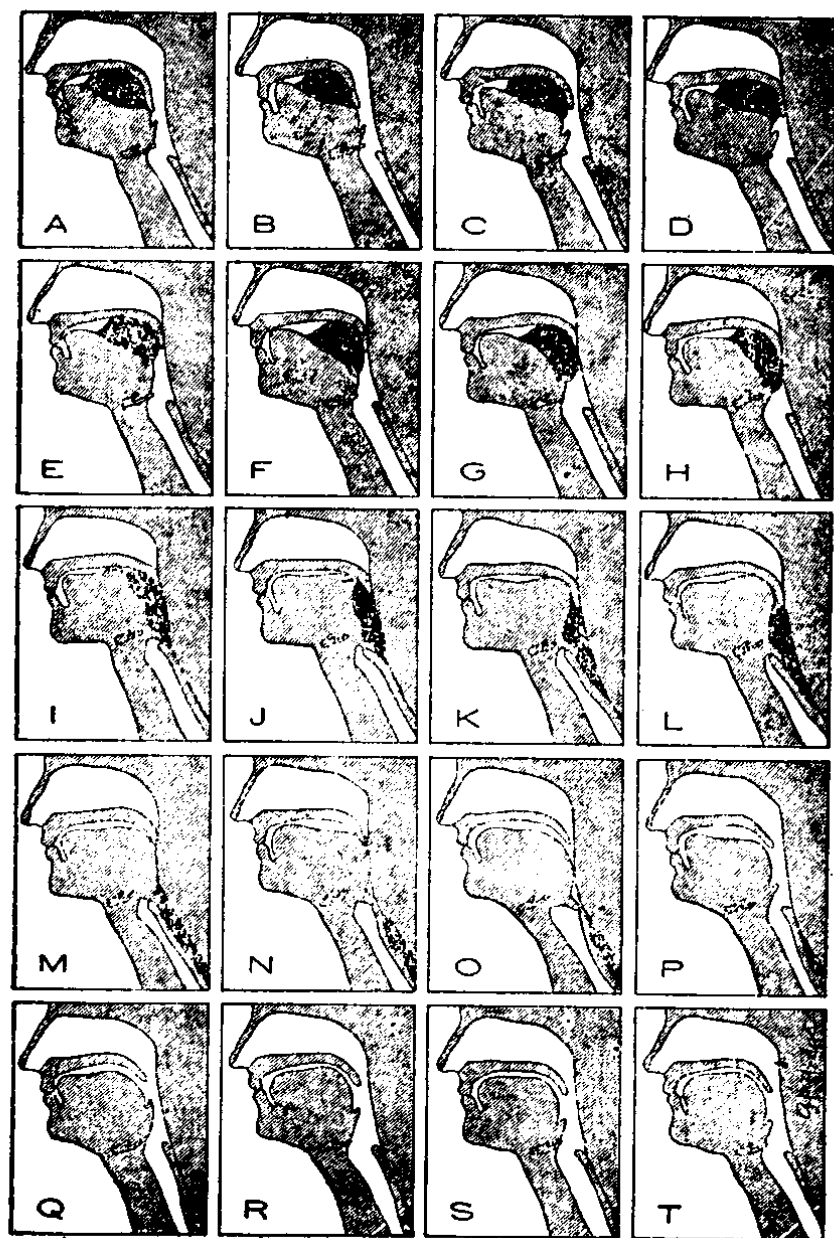


图 1 吞咽时的顺序。A和B，软腭形成一道延伸到舌根的屏障。C，D，E和F，当食丸从舌头上面向后运动时，软腭上升以阻塞鼻咽。G，H和I，食丸使会厌向后倾斜。从H到R，声门（未画出）截断喉部气道。J和K，食丸平稳地在会厌的凸面上通过，舌头象一个活塞那样向后运动。食丸在咽部下括约肌处稍被延搁。O和P，软腭舒张，会厌上升。Q—T，食丸下移至食道。整个过程需时 $1\frac{1}{2}$ 秒（由Rushmer, R.F.和Hendron, J.A.; *J. Appl. Physiol.*, 3; 622—630, 1951）

部发生的吞咽过程在 1 秒钟内即完成。

饮水时的口部运动

当吸吮或用麦秸管吸饮液体时，口内即产生负压，这是在不破坏舌腭密闭腔的情况下，舌头回缩而造成的。这样就使液体充满口腔；之后，舌的后部突然下降以使液体下流入咽部。此时下颌上提以使颌部紧闭，并在舌头后掠的同时开始了吞咽运动。

熟练的饮啤酒者能不断地将一瓶啤酒倒入口中，外表看来似乎是经过一条直达食道的通道将啤酒倒下，但实际并不如此。他抬起颌部并向前伸，以增大口腔和咽部的容量，甚至利用他的下唇来维持口中的液面。在啤酒进入咽部之前，象在打呵欠那样，舌骨、咽部和喉头下降，舌背压抵下倾的软腭。这时声门关闭，呼吸暂停，然后舌背前移，软腭上举，以使啤酒拥入咽部，而由关闭着的咽下括约肌将啤酒容纳在此处。舌头此时象凸轮似的以每秒一次的速度在运动，迫使液体通过括约肌进入食道。这种抽压过程一直延续到口腔排空为止；然后出现一个普通的吞咽过程，从口腔行进入胃以扫除泡沫（图 2）。

咽 气

正常存在于咽部的空气是当食丸被舌头推入咽部时被卷去的。大部分空气在声门关闭之前的一瞬间就进入了气管，仅偶尔有一气泡在食丸的前头被迫进入食道。大部分咽入的空气并不超越食道以下，而是很快被打嗝动作所驱出，但有些空气可通过小肠。在起泡沫的唾液内或在食物内，特别是在蛋白甜饼和蛋白牛奶酥内包含的空气，常被咽下。事实上“干咽”是含有空气和唾液的。当唾液分泌过多时，如在恶心时伴随着大量的唾液分泌，此时大量的空气随着唾液咽下，可引起不适。一餐被咽下的空气可达 500 毫升之多。空气亦可在口唇关闭时被舌头卷住而随意地咽下。一个没有喉头的人可以学会使空气充填食道，然后将它慢慢地驱出以形成说话的基础。另一方面，那些呼吸麻痹的人可以训

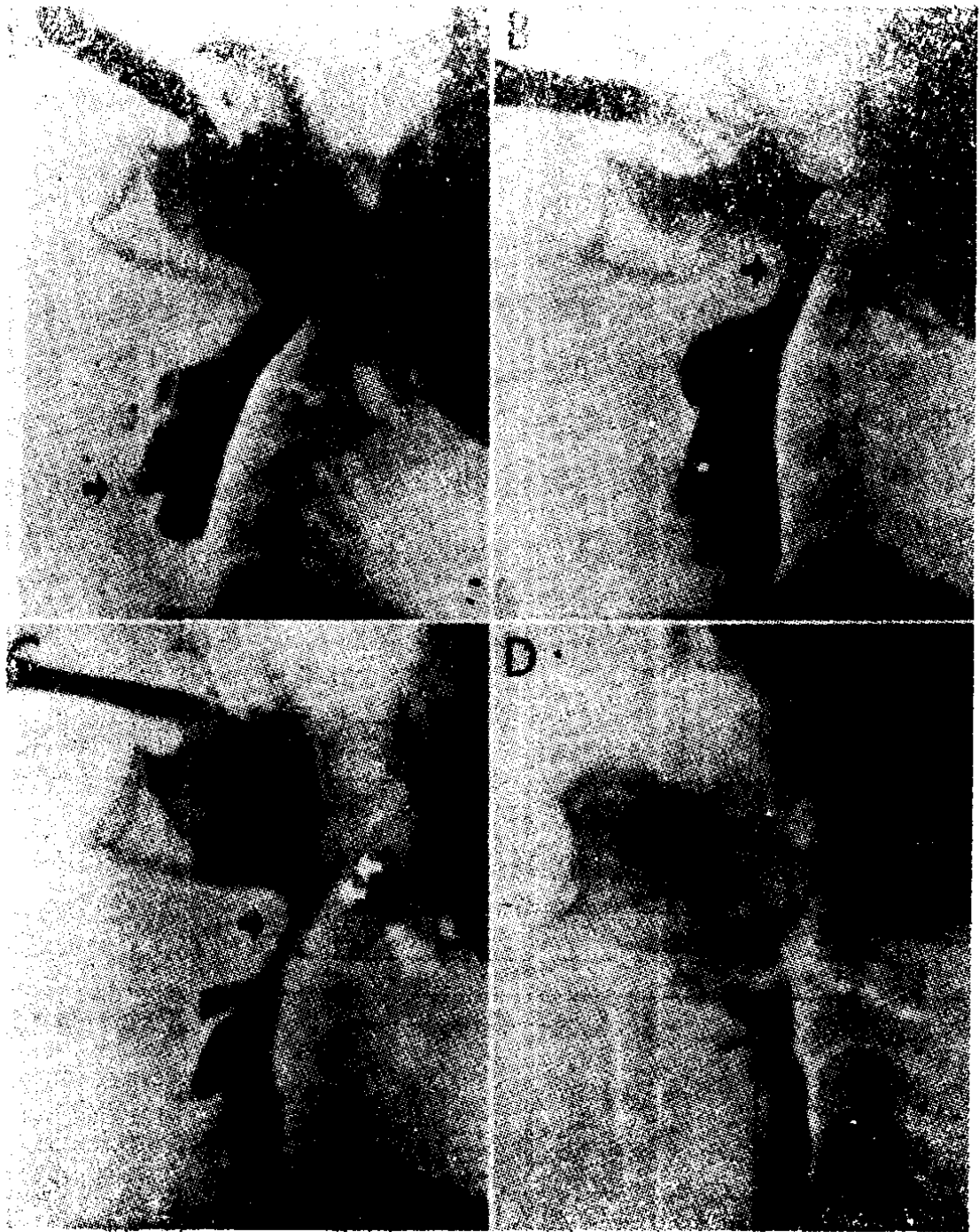


图2 竞赛饮啤酒者所用的特殊吞饮技术。A，将液体倒入敞开的口腔内。口咽开放，以使喉咽得以充盈；喉部前庭扩张。B，舌背向后凸出；口中液体被迫流入已扩张的喉咽部。C，黑箭头指着的是接近完成的、舌头的凸轮状动作，咽下部括约肌开放，液体已进入食道。D，发生最后的吞咽动作，这时口腔闭合，喉头上举，会厌向后翻盖。（由 Ramsey, G. H. 等, *Radiology* 64: 498—518, 1955）

练打开声门来咽气，这种方式的呼吸称为舌咽性呼吸或蛙式呼吸。出生后的第一次呼吸可以是咽入的，用连续的 x 射线照相在 8 个新生婴儿中有 5 个可以观察到这种现象，即咽腔发生先扩张

后压缩的动作，随着才发生肺脏的初次充胀。

吞 咽 反 射

吞咽几乎总是一种反射性的动作。要想随意性地引起吞咽是无效的，除非是有什么东西要咽下去，那怕是几毫升的唾液也行。吞咽反射是由于刺激了存在于口腔和咽部的大量感受器而引起的，传入冲动由舌咽神经和迷走神经的上喉支传入中枢。较高级的中枢可使这种反射容易化，因此，会造成这样一种错觉：对于一个清醒的人来说，吞咽是随意的。一旦这种反射被引起，延髓中的吞咽中枢就通过如图 3 所示的六个神经核及一些运动神经

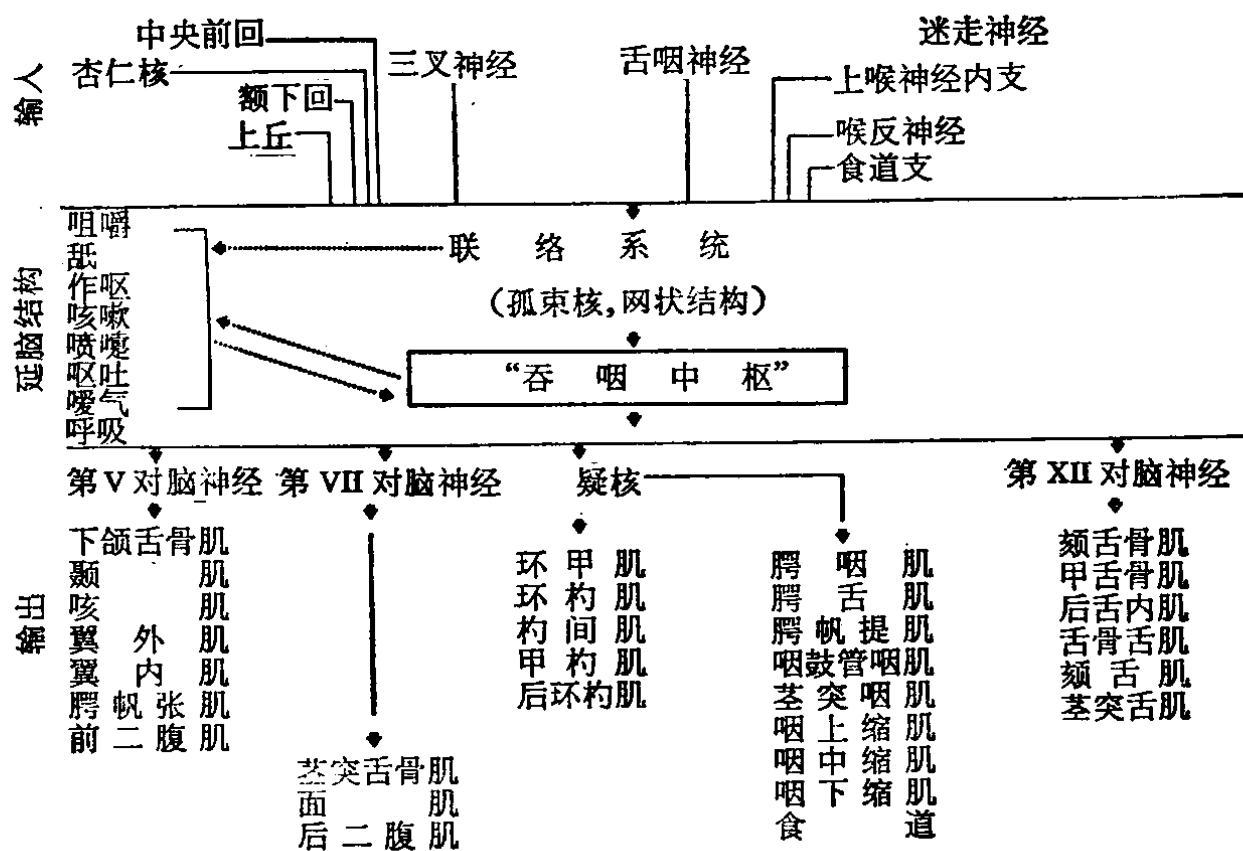


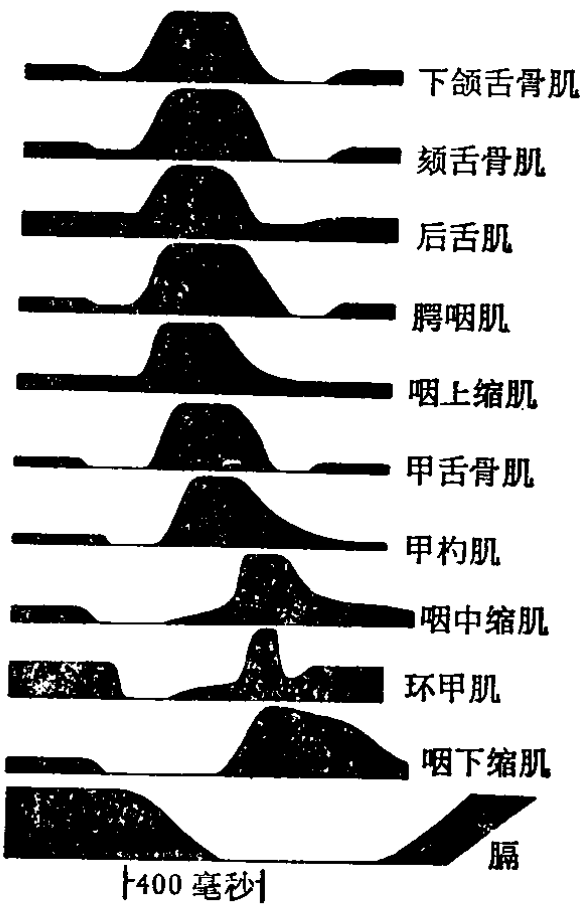
图3 吞咽的传入和传出系统以及在吞咽和其它协同动作间相互作用的必要条件略图。(由Doty, R.W.: *Neural organization of deglutition*, in Code, C.F.(ed.): *Handbook of Physiology: Sec.6, Alimentary Canal*, Vol. IV [Washington, D.C., American Physiological Society, 1968])

元的传出冲动引起完整的吞咽动作。通过这些神经的冲动引起颊

咽肌群一系列有次序的相继收缩，持续 0.5 秒。这些肌肉中很少具有本体感受器而且不含 γ -传出系统。用普鲁卡因处理参与该反射的肌群或将它们切断后，基本上不影响这种冲动发放的模式。这表明从肌肉来的反馈作用在决定肌肉收缩的顺序或强度上，不起显著的作用。在吞咽的咽部时相之后紧跟的是食道时相，食道时相持续数秒钟，使得蠕动波缓慢地向食道下方推动，直至吞咽动作完毕。

这种有严格顺序的冲动发放模式在图 4 中给以说明。在咽部

图 4 用肌电图计记录出的狗吞咽中枢传出冲动综合图。线高表示每种肌肉活动的相对强度，但升高和下降的轮廓线是图解式的。上五种肌肉是咽的一部分；它们几乎是同时收缩，这样在食丸之上造成高压。同时，下五种属于咽下部和咽下括约肌的肌肉即舒张。食丸通过后，这些肌肉即收缩，紧密地关闭括约肌。在食丸通过咽下时，膈即舒张。由这种肌肉的活动所引起的压力改变在图 7 示出。（由 Doty, R.W., 和 Bosma, J.F.: *J. Neurophysiol.* 19: 44—60, 1956）



的 5 组肌肉同时收缩 250—500 毫秒。这样便在食丸的后面产生了高压并推送食丸至咽下括约肌。在安静时，由于其周围结构的被动弹性，在食道的咽食道联接处是关闭的；而咽环肌并不经常发生收缩。但是，咽环肌很容易被人工的移位或异物进入咽食道腔内而反射性地引起兴奋。如果联接处周围的肌群最初是处于收缩状态，那么，它们在吞咽的早期当食丸接近和通过括约肌时会受到反射性抑制。由于提升喉头及环状软骨的肌群的收缩，可使括

约肌开放。在食丸通过括约肌之后，括约肌就收缩，并严密地关闭着，直到在括约肌以下开始产生的食道蠕动波已将食丸向前推进。

食道的结构

在人类，食道的上四分之一的肌肉壁是由一层纵行横纹肌围绕着一层环行横纹肌组成。在肌肉层与食道内表面的鳞状上皮之间有一层厚的粘膜下弹性和胶原性组织网。这些组织与厚的粘膜肌层一起使食道上皮形成许多皱折，这些皱折的表面相互对向着，因而使食道内腔闭塞。当吞咽时，食丸所占据的那部分食道的皱折便展平了。

食道下三分之一的肌肉壁是排列成两层的平滑肌，内层略呈环状，但含有许多螺旋形、椭圆形或斜行的肌束；外层略呈纵行但不规则。通常在食道中央三分之一的部分是上面的横纹肌与下面的平滑肌之间的移行区，但这个区域的位置在内层较外层为高。某些动物，例如狗、小鼠、和象等，整条食道的肌肉都是横纹肌。虽然并不存在有肌肉结构所形成的一种解剖上的括约肌将食道与胃隔开，但食道的下端确实起到类似生理性括约肌的作用。

在安静状态下，食道的上八分之七，咽食道交界处之下的区域是舒张的。当利用食道镜通向下面观察时，则可发现在膈裂孔之上约2厘米和贲门之上3—4厘米处的食道是闭合的。此处的食道肌肉有时候稍变肥厚，标志着生理性的食道下括约肌的上界。食道下段八分之一，即在狭窄处与贲门之间的部分，有时称为食道前庭。

食道的运动神经支配

支配咽部与食道上部横纹肌的那部分舌咽神经和迷走神经，其本质不属于植物性神经，它们包括感觉传入纤维及传出至运动终板的神经纤维。食道下段的平滑肌是接受表现为自主神经特点

的迷走神经的支配：迷走神经节前纤维的终末与节细胞形成突触，构成肌间神经丛。由此神经丛发出的节后纤维支配平滑肌细胞。在食道完全由横纹肌组成的那些动物，可以预料到在它们的食道中找不到肌间神经丛；但是在这些动物的食道和人类的食道的横纹肌部分是存在着这种神经丛的。它之所以存在的道理和功能均未明了。

节前和节后纤维都是胆碱能的；拟副交感神经药物可以刺激它收缩，阿托品则阻止它发生收缩。食道是有交感神经支配的，但它的功能却不清楚。支配食道最下面八分之一，即形成食道下括约肌的交感神经兴奋时，可以通过肌间神经丛中胆碱能神经元兴奋而引起肌肉收缩，也可以由于交感神经对这些肌肉的直接作用而发生舒张。但在完全切除交感神经之后，括约肌仍然能正常地收缩和舒张，因此它的调节必然是主要通过副交感神经的支配来完成的。至于粘膜肌层，交感和副交感的兴奋及其各自的介质均能使之收缩，但在吞咽中该肌肉所起的作用尚不明了。

消化管腔内压力测定的方法

向消化道内插入一条与压力记录装置例如应变计 (strain gauge) 相连的小管，即可测量消化管腔内的压力。管子通常是用聚乙烯或聚氯乙烯塑料制成，其外径小于2.5毫米，内径约为1.5毫米。管子的顶端是封闭的，紧靠顶端的侧面有一1.5毫米直径大小的开口。管内充满液体，而且按每分钟大约50微升的速度向管内注入液体。这种连续的液流通过管子对于保持管子末端开放无阻是必需的，从而可以正确地记录括约肌的压力。常常把几个管子缚成一束而令其尖端分别相隔一定的距离。使用9根这样的管子其各自开口相距5厘米所得的记录如图7所示。

有时在置入消化道内的管子开口处包上一个小的橡皮气球。气球愈小，愈能正确地传送管腔内压。气球的直径大于3毫米时会造成压力读数的假象。

在某些情况下，例如图5所述装置，小型的换能器本身便可

置于消化道管腔内。

为了对括约肌的活动进行定量的测定，可用一根在尖端附近有一开口的管子，在x光透视下令其穿过括约肌以确定其位置。将管子的尖端慢慢地回撤，同时记录其压力。用这种方法所获资料表示于图6。在这类的研究中，必须迫使液体连续地通过管道；否则，当管子的开口位于括约肌中时，括约肌的粘膜堵塞了管口，而在开口被堵塞之前所获得的压力，却被连续地记录下来。

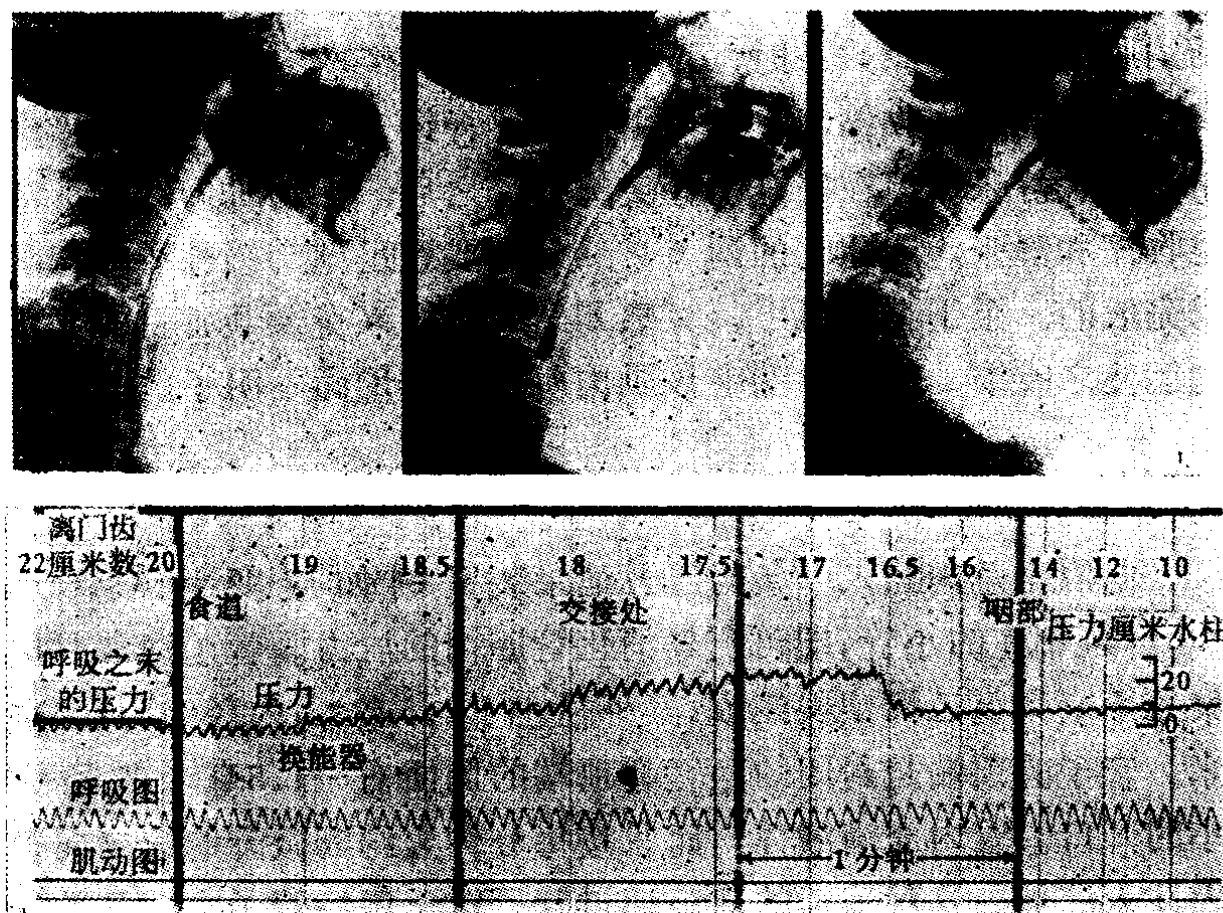


图5 咽食道交接(即联接)处的压力。压力是借助换能器记录出的，换能器位于x射线照相图中所显示的那根管子的顶端。当换能器从食道抽出时，所记得的压力一直渐次升高，直到通过了食道括约肌的上界，即离门齿16.5厘米处以后为止。(由Fyke, F.E. 和Code, C.F.; *Gastroenterology* 29: 24—34, 1955)

在x线透视的监视下，可把管子的开口放置于需要研究的括约肌内。将液体缓慢地通过管子注入括约肌内。压力的记录稳步

上升，到某种数值时突然变平。这个数值就是降服压力 (yield pressure)，这是括约肌收缩能力的一个指标。降服压力越高，说明括约肌关闭得越严。

测定的过程，特别是测定括约肌内压力的过程，其本身可以使欲测定的生理功能受到干扰。例如图 5 所示，由于管子和换能器置于咽下部，就可能刺激括约肌周围肌肉的反射性收缩，以致括约肌不是处在一个真正安静的状态。

安静时食道内压力

安静状态下的食道内压等于胸内压，因为食道肌肉是松弛的。事实上呼吸生理学者常测量食道内压以代表胸内压。当平静呼吸时，其压力较周围大气压力低 5—10 毫米汞柱。在吸气时食道内压下降，而在呼气时则升高。

食道两端的压力，比食道内压高一些。在安静状态下口腔与咽部的压力接近于大气压；若不是食道上端被咽下括约肌所关闭，则空气可从口腔进入食道直至食道内压与大气压相等时为止。

通常胃内压力超过食道下端的压力。胃内压常比大气压高出 5—10 毫米汞柱；而且当吸气时上升，呼气时下降。由于胃内压高于食道内压，除非食道下端的括约肌将食道与胃的连接点关闭，否则胃内容物就将从胃逆流入食道。

安静时的胃食道连接处

若压力记录管的开口端通过食道全程进入胃，则可记录得基础的胃内压，其数值较大气压高出 5—10 毫米汞柱（图 6）。迭加在基础压力之上的压力变化是由呼吸运动所造成的：平静吸气使胃内压升高约 5 毫米汞柱，而平静呼气使它下降至接近大气压。

当管子的末端从胃内抽出而进入横膈下的食道（这段食道在正常人有 2 厘米长）时，基线压力逐渐上升，直至管子的末端接

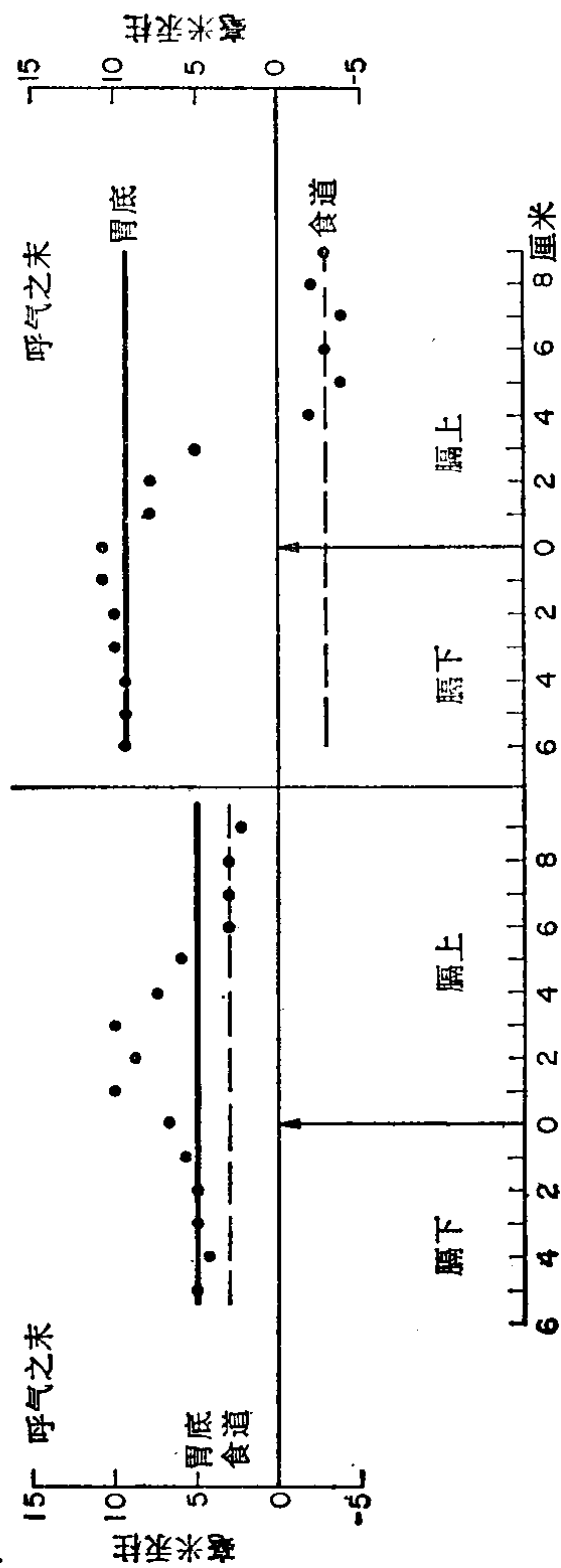


图6 一个成年人胃食道联接处在安静状态下的压力，这是用一条顶端开放的、与换能器相连的管子通入胃内并缓慢地将它抽出时所记录得的。在x线透视下观察管子末端的位置，利用记录上出现呼吸振幅倒转处确定膈的位置。呼气之末的压力在左方，食道内压高于大气压。吸气之末的压力在右方，食道内压力低于大气压。在两期呼吸中，均有高于胃体或胃底压力的区域，这个区在呼气时向上移动。（由Vantrappen, G.等.; *Gastroenterology* 35: 592—602, 1958）

近膈裂孔（食道通过此孔而进入胸腔）时，所测得的压力较胃内压高出 5—10 毫米汞柱。在膈裂孔之上，则压力下降，直至低于大气压，因此也低于胃内压。当受试者处于呼气末了时，压力的升高首先出现于膈下 3 厘米处，而终止于膈上 3 厘米。当受试者处于吸气末了时，压力上升的范围是从膈下 3 厘米开始至膈上 1 厘米。因此就有一个 4—6 厘米长的高压区将胃与食道隔开，作为两者之间的屏障。这就是生理性的胃食道括约肌，这个生理性的括约肌既不同于解剖上的贲门括约肌，也不同于膈裂孔。

当管子的末端在胃中时，其压力随呼吸而发生变化，而且迭加在基线压力之上。在吸气时压力为正，而在呼气时压力为负。当管子从胃回抽至食道时，呼吸的影响发生反转，在吸气时成负，而在呼气时成正。呼吸压力的反转点可以发生在胃食道括约肌的不同部位，它并不是膈裂孔的可靠标界。

吞咽时的咽部压力

在吞咽动作中当食丸通过咽部时，咽部压力急剧上升达一最大值，约为 100 毫米汞柱（图 7）。此种压力升高的状态仅持续 0.5 秒。当高压波达到咽食道交界点前几分之一秒时，由于使环状软骨上提的肌群发生收缩，引起括约肌开放。如果当时括约肌处于收缩状态，则当压力波接近于括约肌时，这些肌群会反射性地受到抑制（参见图 4）。于是食丸通过开放的括约肌而进入食道。仅当括约肌稍上方的咽部存在高压的半秒钟内，括约肌才维持在开放状态。过后括约肌就关闭，在其后的另一个半秒钟内其压力升达 90—100 毫米汞柱或约为它静止时压力的 2 倍。当括约肌内压力达最高点时，一次蠕动波便从食道上端开始，并产生约 30 毫米汞柱的压力。括约肌上存在的较高压力能防止食丸从食道反流入咽部。待蠕动波进一步往食道下方推进，食道上部的压力再度降低之后，括约肌的压力就下降，经过 2 秒或 2 秒以上的时间降至安静时的水平。因此，在吞咽开始以前括约肌是关闭的，当食丸推向它的时候便舒张并且开放，它维持在开放状态以