

模型を使った解剖学教育

－耳小骨機能模型と嚥下機能模型を用いて－

広島大学大学院医歯薬保健学研究院

口腔健康科学講座 里田隆博

はじめに

解剖学教育は最近のIT機器の進歩に伴い、黒板から、スクリーンやタッチパネルを使った教育に変わりつつある。また、解剖学実習は本物を見るという点においては無くてはならない存在である。しかしながら、どんなにIT技術が進歩しても、どんなに解剖学実習でご遺体と向き合ったとしても理解しにくいものがある。その補助として、医学模型は非常に有用である。

私は、今まで解剖学教育に携わってきて、その必要性から多くの模型を作製してきた。今回、その一部の耳に関係する模型(耳小骨機能模型と内耳機能模型)と嚥下の仕組みを説明する模型(嚥下機能模型と操作しやすい嚥下模型)を紹介する。最近では、解剖学教育にも、コンピュータグラフィクス(CG)が取り入れられつつあるが、タッチパネル式のiPadなどは、非常に操作性がよく、また、画面の中で3次元に見えて拡大、縮小が容易で、回転もできる。しかしながら、そのようなCGの教材は3次元に見えても、所詮、画面の中である。

耳小骨機能模型 (写真1)

耳小骨は、鼓膜の内側にありツチ骨、キヌタ骨、アブミ骨から構成される(写真2)。耳小骨は鼓膜に伝わった音の振動を機械的振動に変えて、内耳の外リンパの振動に変換する機能を持つ。まず、鼓膜に伝わった音は、ツチ骨とキヌタ骨により、この原理を利用して、約1.3倍に増幅される。その際、この支点は、前ツチ骨靭帯とキヌタ骨の短脚を結ぶ線である(図1)。ツチ骨とキヌタ骨は、キヌタ・ツチ関節でつながっており、音を伝える際には、ツチ骨とキヌタ骨は、一体として動き、この関節は動かない(写真3)。従って、この関節は一見必要ないように思われるが、この関節が残っている理由は、後で示すが、耳小骨筋反射のためである。鼓膜は長径10mm、短径8mmの楕円形をしており、アブミ骨がついている前庭窓の面積は、鼓膜の20分の一である。そのため、20倍に増幅されるわけであるが、エネルギーロスのため16～17倍に増幅されると言われる。この仕組みは、解剖実習で実物の耳小骨を用いて動かしても

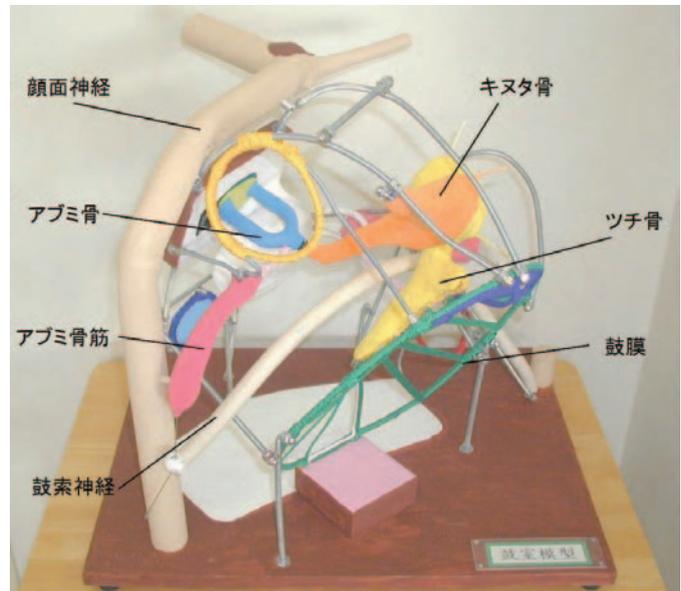


写真1: 耳小骨機能模型 (右側,後外側方より)

わからない．そのため大きな模型を使って，説明することは非常に有用である．また，耳の中には鼓膜張筋とアブミ骨筋という二つの筋があり，この二つの筋は同時に収縮して大きな音から内耳を保護している．鼓膜張筋が収縮すると，ツチ骨が内側に引かれる．アブミ骨筋の働きは，アブミ骨を前庭窓から引っ張り出すように働く．この二つの筋の作用は相反するものであり，同時に収縮するとキヌタ・ツチ関節はよじれ，耳小骨全体が固まり，動きにくくなる．これが耳小骨筋反射である¹⁾（図2）．



写真2：ヒトの耳小骨（右）

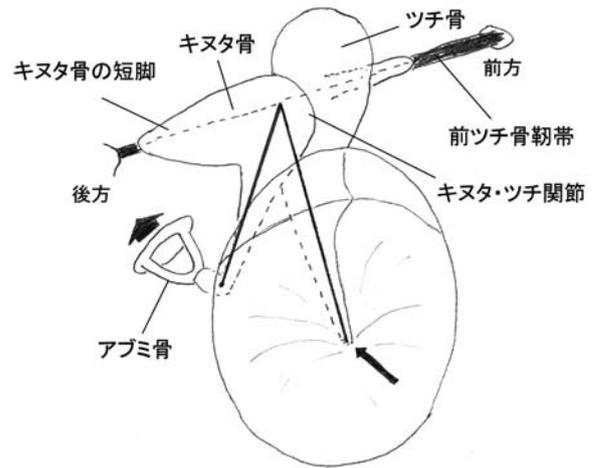


図1.ツチ骨,キヌタ骨,アブミ骨の関係



写真3：平常時の音の伝わり方

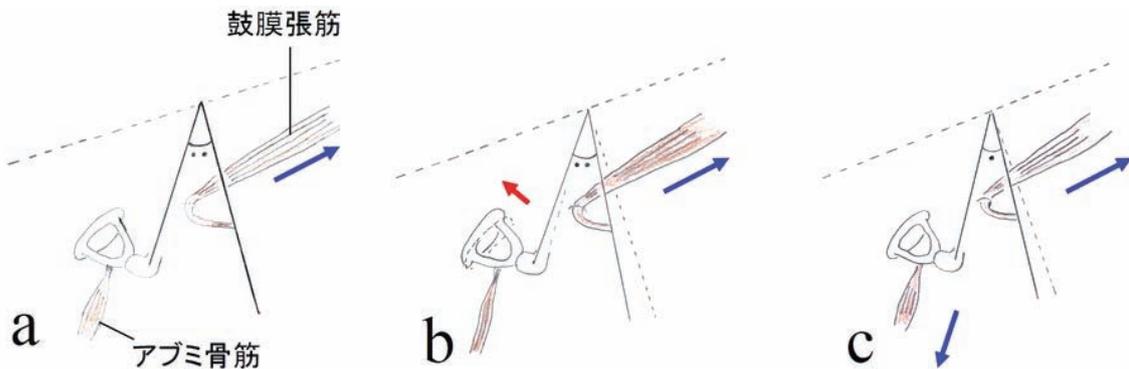


図2.鼓膜張筋とアブミ骨筋の作用

内耳機能模型 (写真4)

内耳の構造を解剖学実習で、実物を用いて理解するのは非常に難しい。実際に観察が可能であるのは、蝸牛ぐらいであり、三半規管、卵形嚢、球形嚢などの構造は不可能である。そのため、拡大した模型が有用である。

内耳の機能は、平衡聴覚機能である。聴覚をつかさどる蝸牛は前庭階、蝸牛管、鼓室階の3階建て構造が蝸牛軸の周りを2¾回転している。また、垂直方向の加速度を感じる球形嚢斑、水平方向の加速度を感じる卵形嚢斑の位置、卵形嚢から出ている三半規管のうち、前半規管と外側半規管の膨大部が外側にあり、後半規管の膨大部が下方にあること。また、前半規管と後半規管が合流して、総脚を作ることなどは解剖実習での観察は不可能である。

アブミ骨から伝わった外リンパの振動は、前庭階の中を上昇して伝わり、蝸牛頂にて、鼓室階に移り下降して第二鼓膜から鼓室内に放散される。その際、蝸牛管の基底膜の振動を引き起こし、基底膜上の有毛細胞が蓋膜に当たることにより、神経信号として、脳に伝えられる。この仕組みに関しては、マイクロであるが、その位置関係などは解剖実習で教える方が都合がよい。一般的に模型が市販されているが、膜迷路を取り外せる形で表現したものは少ない。

今回、内耳の構造を理解させやすくするために模型を作製した。この模型の特徴としては、膜迷路を青色で表し、外リンパをピンクで表した。またこの蝸牛管の構造を理解させるため、蝸牛管を蝸牛軸の周りに巻きつけることができるようにした(写真5a, b, c, d)。また、球形嚢および球形嚢斑を作り取り外し式にした(写真6a, b)。また、三半規管と卵形嚢を一体として作り、取り外し式にした。三半規管は、それぞれ膨大部を作り、膨大部稜を内部に作った。内リンパの流れを示すため針金のまわりに透明なチューブを付けた(写真6c, d)

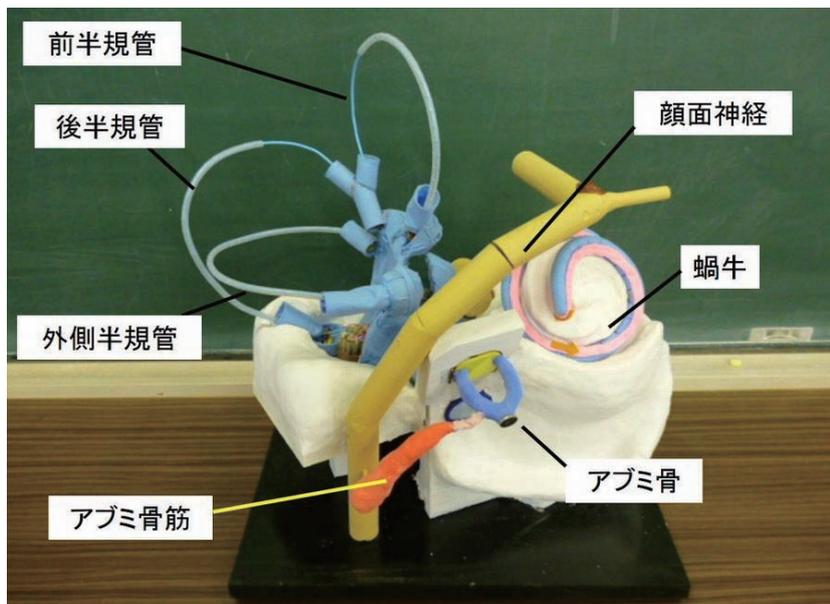


写真 4 : 内耳機能模型

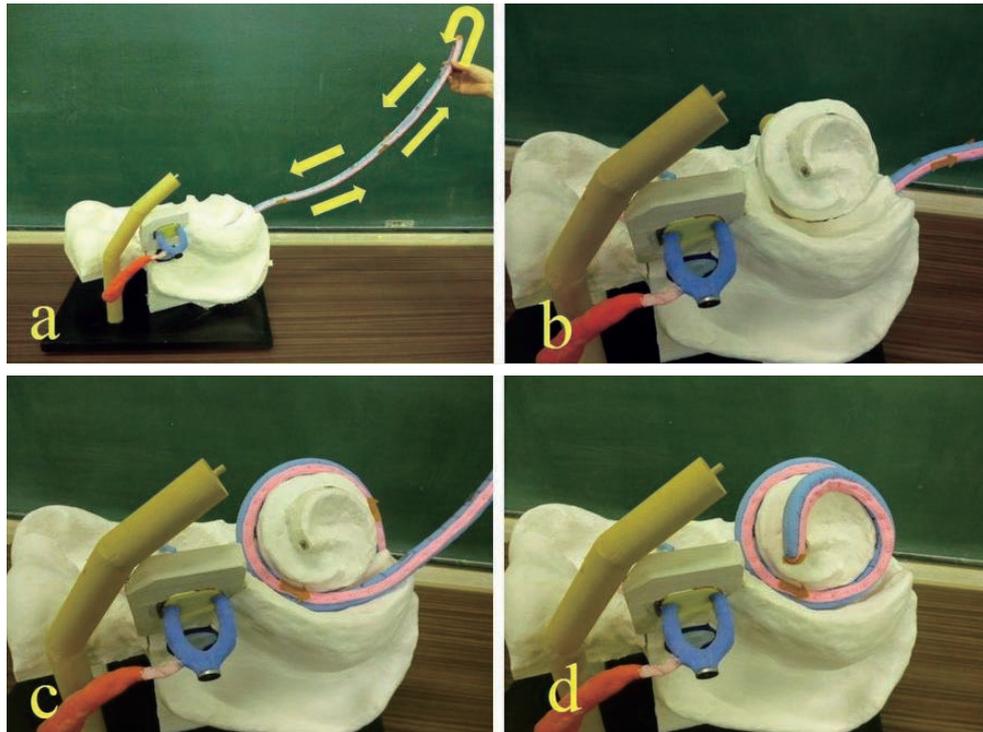


写真5：蝸牛の回転

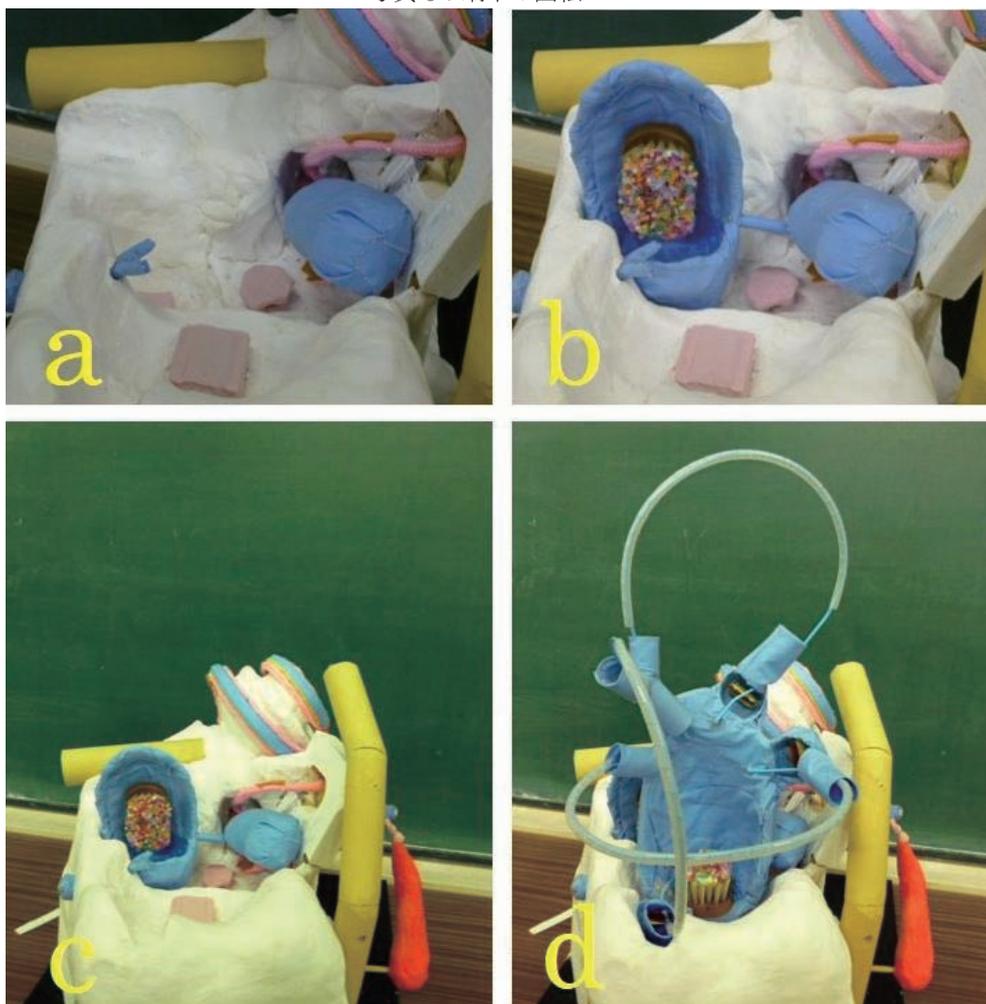


写真6：球形嚢,卵形嚢と三半規管

嚥下機能模型（写真7）

嚥下の仕組みは非常に複雑である。咽頭は空気と食塊が交差するが、ヒトでは特に咽頭という空間が広いので、空気の流れを完全に遮断して、食塊を嚥下する。嚥下反射は食塊が奥舌に達すると起こる。嚥下反射は軟口蓋が挙上し鼻咽腔閉鎖の後に、口腔閉鎖、声門閉鎖の状態では、咽頭収縮筋が上から順に収縮し、舌骨上筋群の収縮と甲状舌骨筋の収縮が起こり、喉頭全体が前上方に持ち上げられる。その結果、喉頭蓋は舌根に押されて倒れ、食道入口部が開き、この部位に陰圧が生じることにより、食塊は咽頭収縮筋により押し出されると同時に、食道の中に吸いこまれる。ご遺体を使った解剖学実習では、この喉頭の動きを再現することはできない。またCGを使った教材が、三次元的に見えたとしても、それは画面の中である。今回、この複雑な嚥下の仕組みを説明できるように、模型を作製した。模型は写真7に示すように、右側を筋をつけ、左側を筋をはずしてワイヤーのみの状態にした。咽頭収縮筋の収縮を赤いレバーで示し、舌骨上筋群の収縮と甲状舌骨筋の収縮をそれぞれ青と黄色のレバーを引くことにより表現することができるようにした。また、声門の閉鎖も青色のレバーを引くことで表現することができるようにした。模型の操作方法は、赤い玉を食塊に見立て、口腔内に取り込み、奥舌への移動（写真8a,b）。奥舌に送られた食塊により、嚥下反射が起こる。嚥下反射は、咽頭収縮筋の収縮（写真8c）。舌骨上筋群の収縮（写真8c）。甲状舌骨筋の収縮（写真8d）が起こる。その結果喉頭全体が前上方に持ち上げられ、食道入口部が開き、この部位に陰圧が生じる。その結果、食塊は咽頭収縮筋に押し出されると同時に食道内に吸い込まれる（写真8e）。食道内に入った食塊は、蠕動運動により胃に運ばれる²⁾（写真8f）。

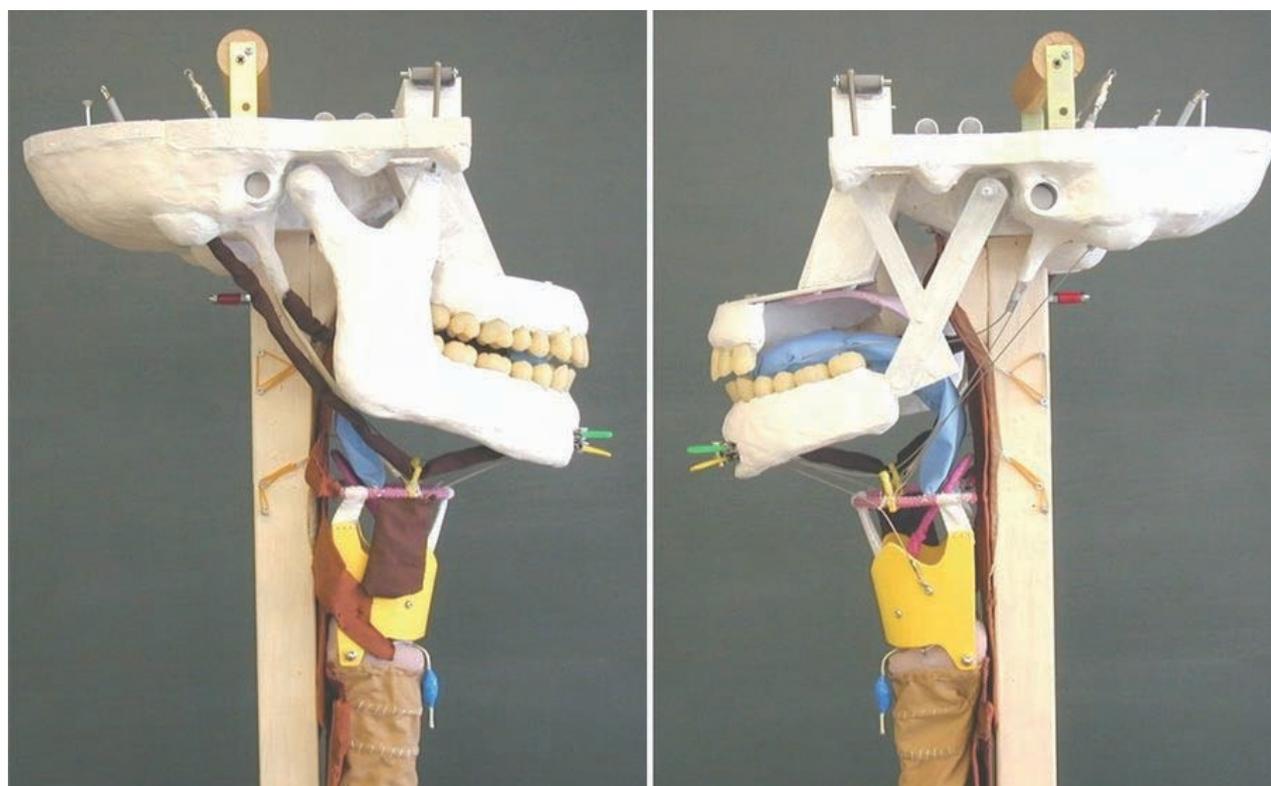


写真7：嚥下機能模型

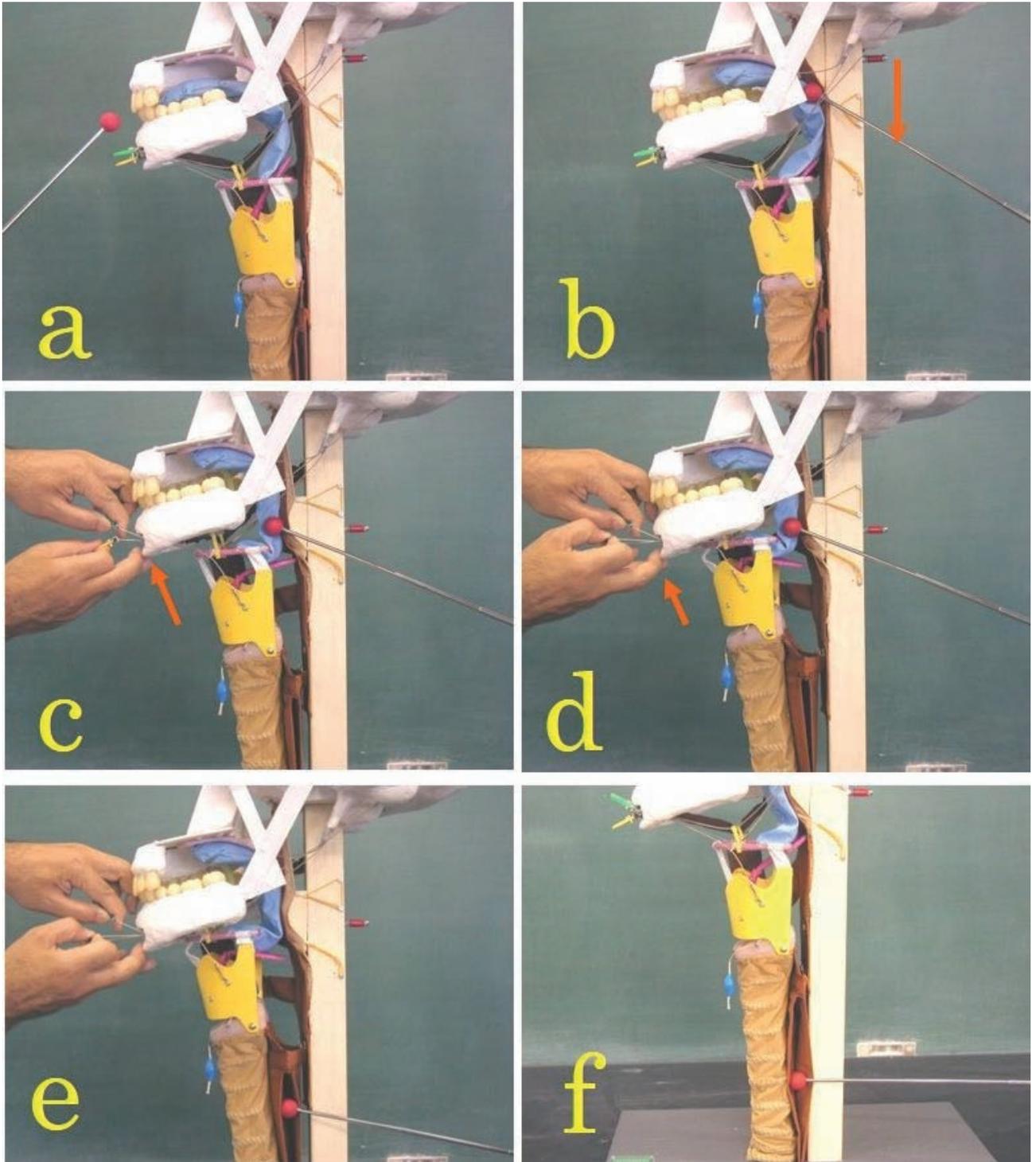


写真 8 : 嚥下の仕組み

操作しやすい嚥下模型 (写真 9)

しかしながら、この嚥下機能模型を使用して嚥下の仕組みは説明できるものの、操作するレバーが多い、軟口蓋が上がらないなどの問題がある。そのため、二つのレバーを操作することにより、表現できる模型を作製した。模型は、脊柱に相当する柱に水平にレールを取り付け、このレールにより、舌と軟口蓋が同時に動くようにした。また、この柱の前後にレールをつけ、この二つをワイヤーにて連結し、後ろのレールを押し下げることにより、前のレールが上がるようにした。後ろのレールでは、咽頭収縮筋の収縮を表した。また、前のレールでは、喉頭の上昇を表現させた。この模型は、口腔内への食塊の取り込み (写真 10a)、舌により食塊の奥舌への移動と軟口蓋の挙上による鼻咽腔閉鎖 (写真 10b)、その結果、嚥下反射が起こり、咽頭収縮筋の収縮、舌骨上筋群の収縮、甲状舌骨筋の収縮が起こり、喉頭蓋は舌根に押されて倒れ、食道入口部は開く、そのため食塊は、食道入口部に吸い込まれていく (写真 10c)、食道内に吸い込まれた食塊は蠕動運動により胃に運ばれる (写真 10d)。

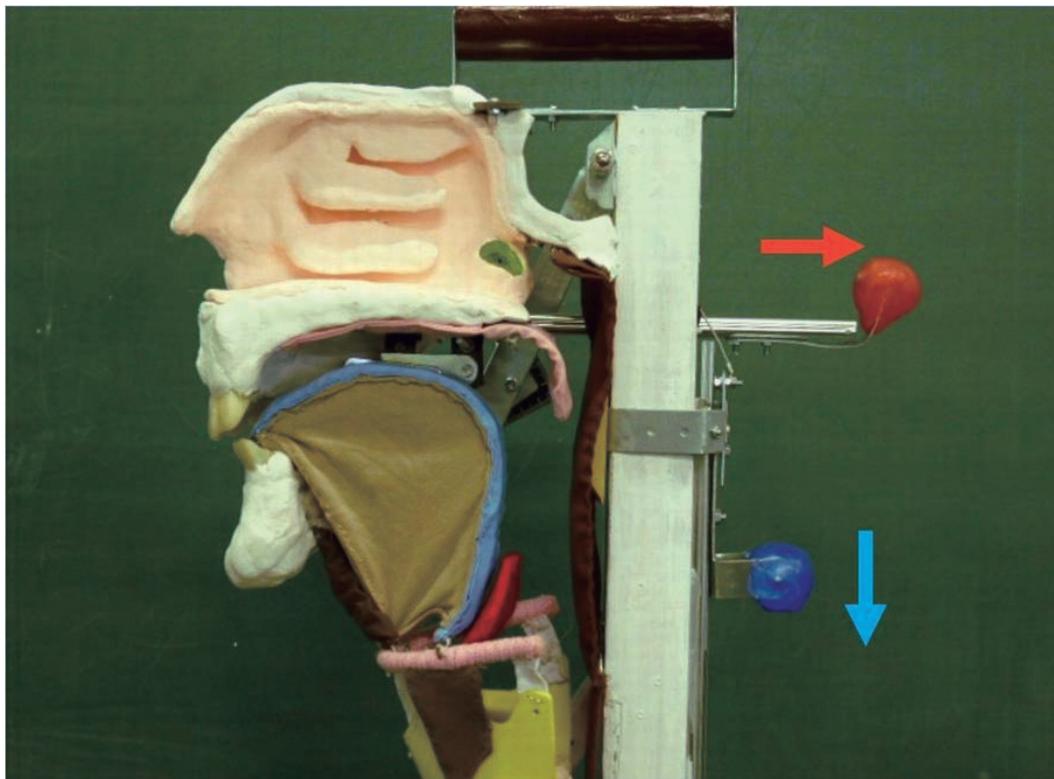


写真 9 : 操作しやすい嚥下模型

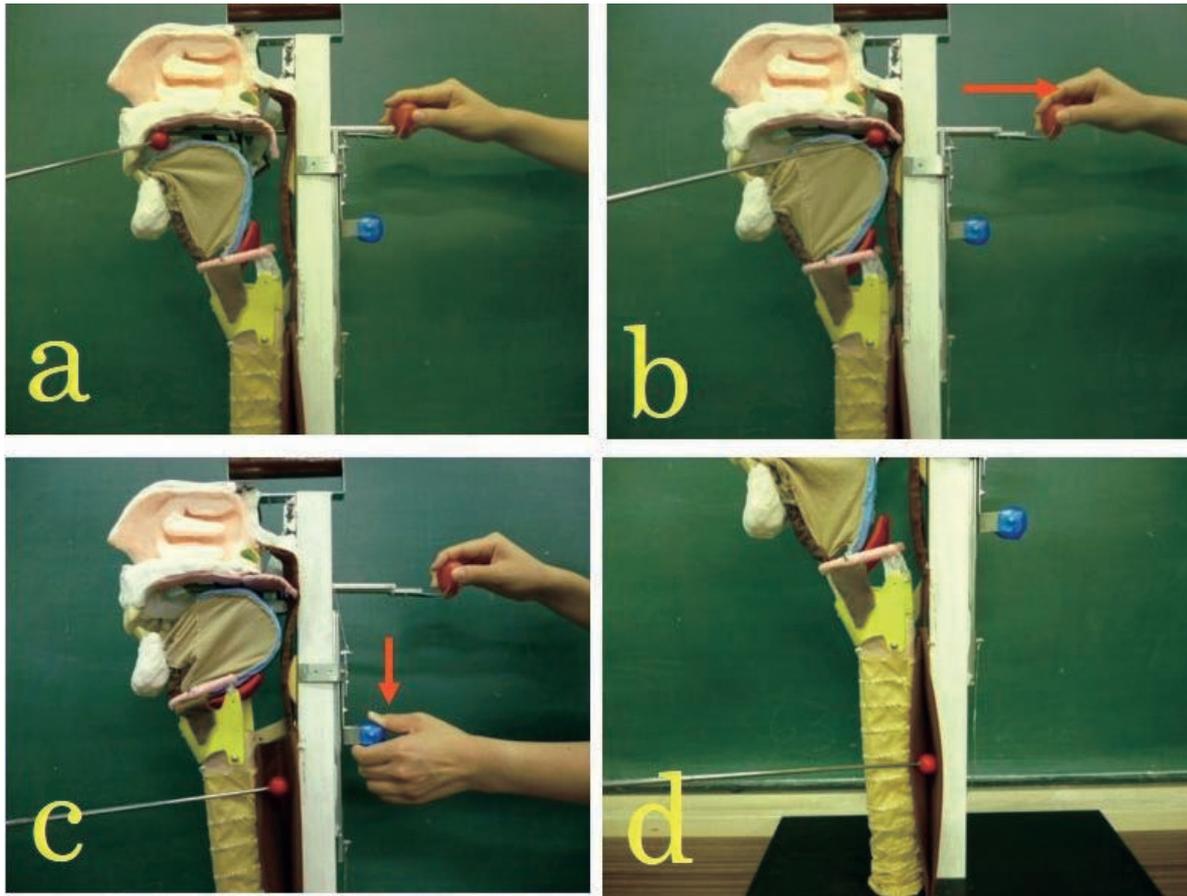


写真 10：操作しやすい嚙下模型による説明

まとめ

以上のように，模型を用いて，耳の構造及び機能や嚙下の仕組みをうまく説明することができた．このような模型は教育上非常に有用であると思われる．しかしながら，これらの模型の製作には，発案から完成まで長い期間と労力が必要である．学会などで発表すると是非とも商品化してほしいとの声が多くあるが，この模型は細かい点において，様々な工夫がされており，商品として製作するには，かなりの熟練と時間が必要である．また，売れる数も限られており，商品化は難しいと思われる．説明をビデオ撮影して，インターネット環境で，提供するというのも，有効利用の方法かもしれない．

参考文献

- 1) 里田隆博，下江宰司，牧平清超，玉本光弘，松本厚枝，原久美子，野宗万喜，仁井谷善恵，杉山勝，竹本俊伸，村山 長，天野秀昭，二川浩樹（2009）耳小骨機能模型の製作．解剖誌 84:41－46
- 2) 里田隆博，下江宰司，牧平清超，玉本光弘，村山長，二川浩樹（2008）嚙下機能模型の製作．解剖誌 83:51－57