

高校生物教育における機能的解剖模型の取り入れ

里田 隆博 下江 宰司 藤本比登美 白神 聖也
井上 純一 横山 道昭

1. はじめに

高校理科(生物)教育においては、耳小骨および顎の構造については、非常に簡単に説明されているのみである。耳小骨の動きに関しては、3つの耳小骨が存在しており、この原理で増幅されるとの記載はあるものの、その仕組みに関しては全く触れられていない(文献1)。顎の運動に関しても下顎骨の構造に関して記載はあるものの、その詳しい動きに関しては、全く記載はない(文献2)。

今回、耳小骨の動きと顎の動きに関して、鼓室(耳小骨)模型(里田の製作)と顎関節機能模型(里田の製作)の2つを用いて、広島大学附属高等学校2年生に講義を行い、生徒の理解度を分析した。



写真1 顎関節機能模型を使った授業風景

2. 鼓室(耳小骨)模型を使った教育(平成18年9月7日)

鼓膜に伝わった音は、ツチ骨、キヌタ骨、アブミ骨の3つの耳小骨に伝わり、内耳へと伝えられる。音とは空気の振動であり、この空気の振動が、耳小骨により、機械的振動に変えられる。その際、この原理で増幅される。この機構は3つの組み合わせだった耳小骨の前ツチ骨靭帯とキヌタ骨の短脚(後キヌタ骨靭帯)

を運動の軸として、ツチ骨とキヌタ骨が一体として内外に揺れるように動き、その増幅した振動をアブミ骨に伝えることによる。その際、ツチ・キヌタ関節は動かず、この原理で、約1.3倍に増幅されると言われる。また鼓膜の面積とアブミ骨底の面積比は20:1であるため、約20倍になるはずであるが、途中のエネルギーロスのため16~17倍に増幅されて、外リンパの振動として伝えられる(文献3, 4)。(図1)

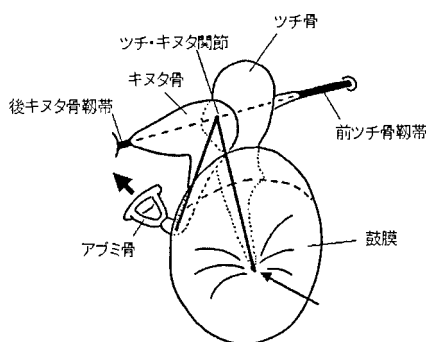


図1 耳小骨の動きを示す(文献4の図を改変)

模型は各耳小骨は針金を芯にして紙粘土で作製した。ツチ・キヌタ関節およびアブミ・キヌタ関節はゴムを用いて可動性とした。前ツチ骨靭帯は、バネで作り前方の錐体鼓室裂に固定し、キヌタ骨の短脚(後キヌタ骨靭帯)は鼓室後壁に固定した。鼓膜の周囲を針金で作り、これを台に固定して、その中に、紐で鼓膜を作り、ツチ骨柄に付けた。鼓膜の中心部を押すとツチ骨が押され、ツチ骨とキヌタ骨が一体として動き、増幅された振動がアブミ骨に伝わり前庭窓まで伝わる様子を説明できるようにした。

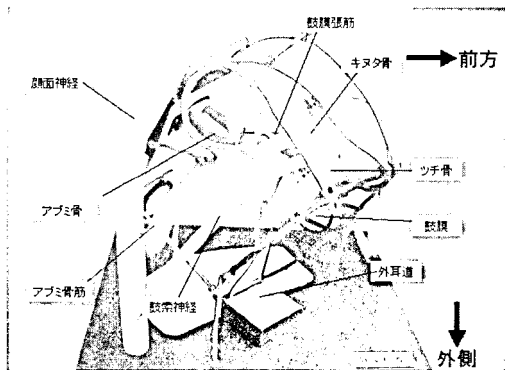


写真2 鼓室（耳小骨）模型（右側）

また鼓膜（耳小骨筋）反射では、鼓膜張筋が収縮すると鼓膜を緊張させると共に、アブミ骨底を前庭窓に押し込むように働く。それと同時にアブミ骨筋が収縮して、アブミ骨を引き出すことにより、耳小骨系全体が剛性が増し、音の伝導が低下する（文献5）。この鼓膜反射では鼓膜は内側に引き込まれるが、アブミ骨の位置は変わらない。そのために、ツチ・キヌタ関節にはねじれが生じる（図2）。これを再現するため、鼓膜張筋とアブミ骨筋をワイヤーにて作製し、それぞれの耳小骨に連結した。これにより、鼓膜張筋の収縮によりツチ骨が内側に引かれて鼓膜を緊張させる様子や、アブミ骨筋が収縮するとアブミ骨底が前庭窓に押し込まれることを防ぐ様子を再現できた。また、その結果ツチ・キヌタ関節にねじれが生じ、耳小骨系全体が剛性が増して動きにくくなり、音の伝導が低下することが説明できた。

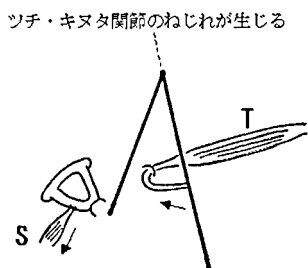


図2 鼓膜反射の際に筋の収縮によりツチ・キヌタ関節にねじれが生じる。T：鼓膜張筋，S：アブミ骨筋

実物大の耳小骨では、あまりに小さいので音の伝導の様子や、鼓膜反射の機構がうまく説明できないが、今回約20倍大の模型を作製することにより、耳小骨の動きおよび鼓膜反射の機構を説明することができた。

3. 顎関節機能模型を使った教育（平成18年9月14日）

顎関節は関節円板を持った特殊な関節である。この顎関節は関節円板により関節腔が上関節腔と下関節腔に分けられる。上関節腔は関節円板の前方運動に関与し、下関節腔は関節頭の回転運動に関与する。一方、顎関節の関節包の外側には外側靭帯が存在し、下顎の前方運動時には関節頭は外側靭帯につり下げられたような運動をされると言われている。また外側翼突筋の上頭は、閉口時に関節円板を下顎窩に押しつけるように働き、下頭は開口時に下顎頭を前方に牽引するように働く。そのため下顎の運動は単なる蝶番運動ではなく、下顎を前方に突き出したり、側方移動したりすることができる。そのため下顎の運動は複雑な軌跡を取る（文献6，7）。

今回、下顎骨は金属板を芯として紙粘土にて作製した。咬筋、内側翼突筋、側頭筋の3つの筋は、ゴムまたはパネで作製した。開口運動に関与する外側翼突筋の下頭はワイヤーを用いて前方に牽引できるようにした（写真3，レバーA）。舌骨上筋群および舌骨下筋群もワイヤーにて作製し、下顎を下方に牽引できるようにした（写真3，レバーB）。

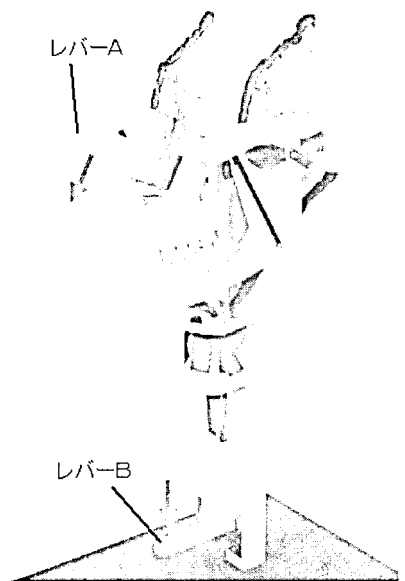


写真3 顎関節機能模型 レバーAは外側翼突筋下頭、レバーBは舌骨上筋群・舌骨下筋群の収縮を表す

顎関節は、外側靭帯を金属板で作製し、関節円板は、弾性のあるエチレンビニール板を用いた。外側翼突筋の上頭もワイヤーで表現して、関節円板に取り付けて、収縮すると下顎窩に押しつけられるようにした。下顎の歯列は着脱式にして、歯の喪失時には、咬合高径が

減少することにより、関節円板に閉口筋の力が加わるようになることが説明できるようにした(写真4)。

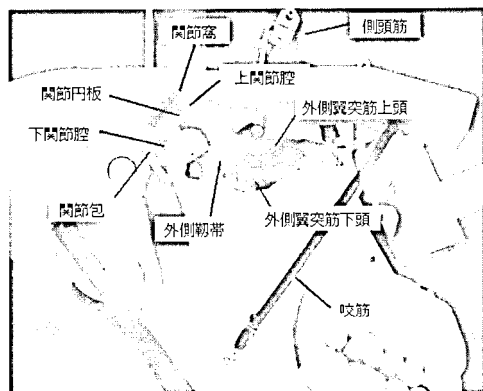


写真4 顎関節部の構造

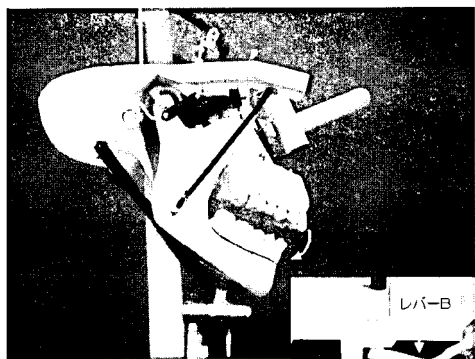


写真5 舌骨上筋群・舌骨下筋群の収縮による開口

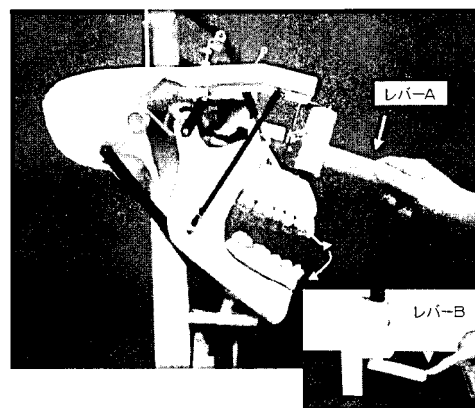


写真6 外側翼突筋下頭と舌骨上筋群・舌骨下筋群の収縮による開口

顎運動は、上関節腔による関節円板の滑走運動と下関節腔による関節頭の回転運動が複雑に組合わさった運動である。下関節腔による回転運動だけでは単なる

蝶番運動しか行うことができない(写真5)。しかしながら、この運動に、上関節腔の関節円板の滑走運動が加わると前方滑走運動と回転運動の2つが組合わされ、大きく開口することができる(写真6)。このことは側方運動を可能にし、臼磨運動をすることができるようになる。しかしながら顎運動は関節円板の前方運動があるため、関節円板が前方の関節結節に引っかかると言う弊害も起こりうる。これがいわゆる「顎がはずれる」と言うことであるが、このことも説明できた。

[里田隆博, 下江幸司, 藤本比登美]

4. 耳小骨模型を使った授業での生徒の理解の分析

事後アンケートの結果を次に示す。

日時; 2006年9月7日 3限

対象; 広島大学附属高校II年生 生物ア組

出席者32名(回答数32名)

1. 今日の授業の内容に興味がもてましたか?

- | | |
|----------------|-----|
| ① とても興味もてた | 3名 |
| ② 興味もてた | 20名 |
| ③ どちらでもない | 8名 |
| ④ あまり興味もてなかった | 1名 |
| ⑤ まったく興味もてなかった | 0名 |

2. 今日の授業の内容が理解できましたか?

- | | |
|----------------|-----|
| ① とてもよく理解できた | 2名 |
| ② 理解できた | 16名 |
| ③ どちらでもない | 6名 |
| ④ あまり理解できなかった | 7名 |
| ⑤ まったく理解できなかった | 1名 |

3. 今日の授業で、印象に残ったことは何ですか? (複数回答のみ)

- ・ 3つの耳小骨のつくりとはたらき 11名
- ・ 模型がよくできていたこと 8名
- ・ 音の伝わり方(集音・増幅・伝達) 5名
- ・ 大きな音の後に小さな音がききとりにくなる理由 4名
- ・ 鼓膜反射の説明 4名
- ・ 加齢による難聴の理由 4名
- ・ 耳の中の筋肉について 3名
- ・ 中耳と顔面神経の関係 2名

4. 今日の授業の内容について質問・疑問があったら書いてください。

- ・ キスタ・アプミ関節はどういう関係になっているのか? 2名

- ・液体（リンパ）の振動がどのようにして言語として認識されるのか？ 1名
- ・鼓膜をつくっている物質は何か？ 1名
- ・外界の音が大きいときに働く2つの筋肉の張力は同じか？ 1名
- ・あくびをしたとき耳の中が変化したように感じるのはなぜか？ 1名
- ・聴力障害の原因は何か？ 1名

5. 今日の授業の感想を書いてください。

(複数回答のみ)

- ・ 模型が良かった 8名
- ・ おもしろく楽しかった 8名
- ・ 難しい用語が多かった 6名
- ・ 耳小骨について驚いた 6名
- ・ わかりやすかった 4名
- ・ 音が伝わるしくみがわかった 3名
- ・ 知らないことを知ることができた 2名

アンケートの結果を見ると興味をもて、理解できたとする生徒が多かった。また、大型模型で説明することにより、耳の中での音の伝わり方についてわかりやすく生徒の頭に入ったことがわかる。耳小骨の小ささとその巧みな機能についての驚きをもった生徒が多い。耳の中の骨と筋肉の協調について驚いた生徒もいた。また、大きい音を聞き続けたときの難聴(適応現象)の理論的説明、加齢(老化)による難聴のしくみについてわかったことが喜びとなった生徒もいた。このような耳の中の巧みな動きを説明できる模型は日本に(世界に)1つしかない。高校生物教科書の耳の項では、簡単な図と説明文だけであるが、大型模型により立体的、視覚的に耳の中の構造を理解させることができるとともに、関節と筋肉による耳小骨(中耳)の動き方を示すことで、動的に音の伝達や適応現象、老化現象について理解させることができることが本授業の優れたところである。身近な現象を科学的、理論的に理解させることは大事なことである。そのときの生徒のわかったという瞬間を大事にしたい。授業後に本物の耳小骨を見て感動した生徒もいた。一方で、耳の筋肉の名称などの専門用語が難しいと思った生徒がいた。また、本時より先に高校生物の耳の授業をすませておくべきだったと考える。 [白神聖也]

5. 顎関節模型を使った授業の生徒の理解の分析

事後アンケートの結果を次に示す。

日時；2006年9月14日 3限

対象；広島大学附属高校Ⅱ年生 生物ア組

出席者33名(回答数32名)

1. 今日の授業の内容に興味をもてましたか？

- ①とても興味をもてた 7名
- ②興味をもてた 15名
- ③どちらでもない 9名
- ④あまり興味をもてなかった 1名
- ⑤全く興味をもてなかった 0名

2. 今日の授業の内容が理解できましたか？

- ①とても理解できた 2名
- ②理解できた 20名
- ③どちらでもない 7名
- ④あまり理解できなかった 3名
- ⑤全く理解できなかった 0名

3. 今日の授業で、印象に残ったことは何ですか？(複数回答のみ)

- ・ 顎(関節)の動き 14名
- ・ 模型がよくできていたこと 10名
- ・ 口を開いたとき下顎が前に出ること 7名
- ・ 顎がはずれるしくみ 2名
- ・ 顎が動くしくみのビデオ映像 2名

4. 今日の授業の内容について質問や疑問があったら書いてください。

- ・ 口が大きく開く人と開かない人では何が違うのか？ 1名
- ・ 顎を動かしたときに音がするのはなぜか？ 1名
- ・ 関節円板が壊れたら顎ははずれたままなのか？ 1名
- ・ 顎がはずれたときはどうやって直すのか？ 1名
- ・ 歯をつくっている物質は何か？ 1名

6. 今日の授業の感想を書いてください。

(複数回答のみ)

- ・ おもしろく興味深かった 10名
- ・ 模型が良かった 7名
- ・ 顎の複雑な動きがわかった 7名
- ・ 顎を動かすとき多くの筋肉が働いていることがわかった 4名
- ・ 顎がはずれるしくみがよくわかった 2名
- ・ 筋肉の名称が難しかった 2名

耳の解剖模型の授業時より、今回の顎の模型を使った授業の方が理解しやすく面白かった、と答えた生徒が多い。解剖模型の精密さは同じであるが、顎の動きの方が耳の中の構造に比べて単純であることと、ビデオ映像も

交えての説明であったことに理由があると考えられる。歯科医院などにもある模型に比べてずいぶん大きいし、顎関節の複雑な動きが説明できる模型であったことも大きい。実物と同様に複雑に動く模型を作られたことに驚いた生徒も多い。生徒はヒトの顎が前後・左右に動きそれには関節・筋肉が関わっていること、大きく口をあけるとときには下顎がはずれて前に出ることなどが印象に残ったようである。顎がはずれる、という現象や顎関節症などと関連づけて考えた生徒もいた。物を食べるということや言語を話すという日常現象との関係に興味をもった生徒もいた。授業後に実際に模型を自分の手で動かす体験をもてたことに喜びを感じた生徒もいた。

耳の模型もそうであるが顎の模型も各学校に1つあると視覚的に捉えさせることができるし、授業をより発展的な内容に深めていくことができる。それは無理であるとしても、大学の先生が高校の現場にいられてこのような出張授業をしていただくことは貴重な機会であるし、その中で今回のような手作りの大型かつ精密な模型を使うことは生徒の理解を大きく助けていると思われる。 [白神聖也]

6. まとめ

今回、鼓室（耳小骨）模型および顎関節機能模型を用いて、高校生に実際教育を行った結果、この模型により、耳小骨の動き、また顎の動きが大変よくわかったという感想が多かった。耳小骨に関しては、その大きさもさることながら、実際に見ることができないが、顎は、各自自分の顎で実感することができる。そのた

め、その動きに関しては、現実的であり、その動きを実感することができ感激したのではないだろうか。

今回使用した模型は、大学での解剖学教育に使っているものであるが、この模型を高校生の教育に使ってみたが、教科書に載っている「音は耳小骨のてこの原理で増幅されて内耳に伝わる」と言うことと、顎の動きに関しては、「顎の動きは単なる蝶番運動ではなく、関節突起が前方に移動する」と言うことがわかったのではないかと思う。

[里田隆博，下江宰司，藤本比登美]

〈参考文献〉

- 1) 高等学校校生物 I，田中隆莊ほか著，第一学習社，pp162-164.
- 2) 総合図説生物，田中隆莊ほか著，第一学習社，pp124-129.
- 3) 実習解剖学，山田致知，萬年 甫 共著，南江堂 pp371-373.
- 4) 必修耳鼻咽喉科学 改訂第2版，時田喬 他編集，南江堂，pp28-32.
- 5) ガイトン臨床生理学，Arthur C. Guyton, John E. Hall 著，早川弘一監訳，医学書院，pp699-670.
- 6) 4次元下顎運動アトラス，福島俊士，鈴木直樹 編著，医歯薬出版，pp46-72.
- 7) 顎関節機能解剖図譜，井出吉信，本郷貴史，中沢勝宏，立石 淳 著，クインテッセンス出版，pp88-113.