

El sentido del espacio y su déficit en los vuelos entre nubes

Conferencia dada por el capitán médico D. Ignacio Olea Herraiz en el Curso de Vuelos sin Visibilidad del de Unificación de Profesores de Vuelo.

EL sentido del equilibrio, del espacio o estado receptor, que de los tres modos se denomina, tan necesario para dirigir nuestros cambios de actitud y lograr el mantenimiento de la misma, es función que el organismo encomienda en parte al órgano del equilibrio, situado, junto con el de la audición, en el *oído interno* o *laberinto auditivo*.

El oído interno se encuentra incluido en el peñasco o porción petrosa (así llamado por su extremada dureza) de ambos huesos temporales del cráneo, que lo alojan a manera de dedal, es decir, amoldándose la morfología del hueso a la del órgano contenido.

Este, que puede ser considerado como una bolsa membranosa, se halla rodeado de un líquido que se llama *perilinf*a y encierra otro llamado *endolinf*a que mantiene en suspensión pequeños cristales de carbonato de calcio, a los que se da el nombre de *otolitos* y cuya misión es la de golpear y excitar a impulsos de las vibraciones las células epiteliales encargadas de la sensación.

El laberinto auditivo (fig. 1) se halla constituido por el *caracol*, órgano esencialmente auditivo, que tiene dicha forma y dos vueltas de espiral en la especie humana,

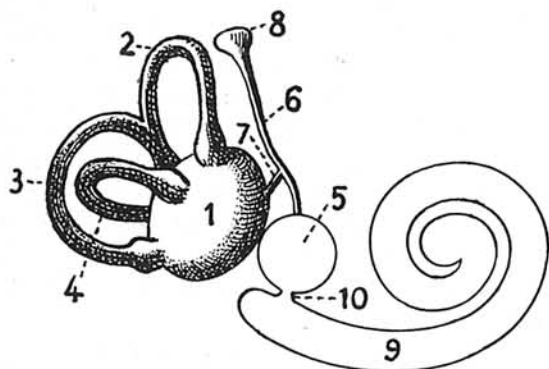


Fig. 1.

LABERINTO AUDITIVO

1, utrículo; 2, conducto semicircular anterior; 3, conducto semicircular posterior; 4, conducto semicircular horizontal; 5, sáculo; 6, conducto endolinfático; 7, canalículo endolinfático; 8, fondo de saco; 9, caracol; 10, canal de Hensen.

inervado por el nervio coclear, rama del acústico, y que contiene el órgano de Corti, que se une por el fondo de saco excéntrico y por medio de un pequeño conducto llamado de Hensen al *sáculo*, reducida dilatación ampular de las dos que constituyen el *vestíbulo*.

El sáculo se une por otro canalículo al *conducto endolinfático*, y a partir de éste, otro pequeño canal simétrico al

anterior conduce al *utrículo*, la otra cavidad del *vestíbulo* ya mencionado. A este utrículo abocan tres *conductos semicirculares*, uno de cuyos extremos es cilíndrico y el otro en forma de ampolla, existiendo en el interior de ésta una pequeña cresta, calificada de vestibular, a cuyo nivel la endolinf se halla más cargada de otolitos.

Estos conductos semicirculares son los encargados de la función del equilibrio, están inervados por la rama vestibular del nervio acústico y ofrecen una curiosa distribución, ya que se encuentran dispuestos en tres planos correspondientes a las tres direcciones del espacio (figura 2); uno de ellos, *vertical y superior*; se halla dirigido de delante a atrás; un segundo, *horizontal*, se dirige de derecha a izquierda, y el tercero, *vertical y posterior*, se orienta de arriba abajo. El vertical superior con el vertical posterior forman un ángulo de noventa grados y están dispuestos en el cráneo en tal forma que un plano frontal que pase por el vértice del diedro que ellos forman es el plano bisectriz.

De todo el aparato del oído interno, someramente descrito, interesan a nuestro estudio tan sólo las funciones propias de los conductos semicirculares, y como introducción a él, es conveniente el conocimiento del estado de desarrollo que alcanza dicho órgano en las diversas especies de la escala zoológica; y así, vemos que los peces poseen conductos semicirculares y carecen de caracol, que en los reptiles éste es rudimentario y sólo tiene una vuelta de espira, que las aves tienen los conductos semicirculares muy desarrollados y un caracol reducido y que en los mamíferos se encuentran ambos aparatos en igual grado de desarrollo, alcanzando en el hombre el caracol un máximo de perfección, a causa indudablemente de sus relaciones con la función del lenguaje: de cuyos datos nos conviene por lo pronto hacer resaltar el que las aves posean unos conductos semicirculares muy desarrollados y el que el hombre no carezca de dicho aparato de equilibrio.

Que este aparato participa muy principalmente en la función del equilibrio, o estado recepción, lo revela el estudio de los siguientes hechos experimentales o de simple observación biológica. En efecto, si se seccionan los conductos semicirculares horizontales a una paloma, en la cual es fácilmente asequible dicho órgano, ocurre que el animal ejecuta movimientos oscilatorios de la cabeza en un plano horizontal, alrededor del eje vertical; la intensidad de estas oscilaciones aumenta hasta que acaba por participar de ellas todo el cuerpo, perdiendo el animal el equilibrio, siempre girando en torno de un eje vertical, hasta caer por fin.

Si se seccionan los conductos verticales posteriores,

encargados de la función de orientación de arriba abajo, los fenómenos son los mismos, pero es distinta la dirección de los movimientos: los de la cabeza se verifican de arriba abajo y de abajo a arriba en un plano vertical y alrededor de un eje horizontal; el animal efectúa volteretas con

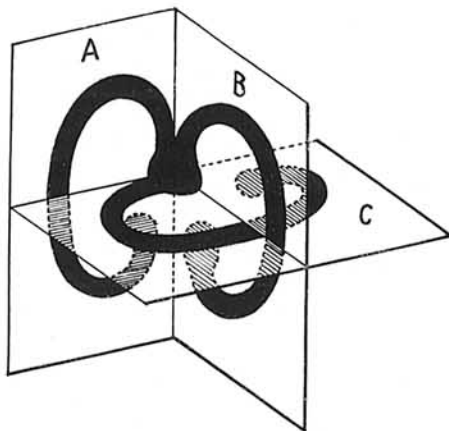


Fig. 2.

A. — Conducto semicircular anterior.
B. — Conducto semicircular posterior.
C. — Conducto semicircular horizontal.

el cuerpo girando sobre un eje transversal y, al cabo, arrastrado por los movimientos de la cabeza hacia atrás cae frecuentemente de espaldas y patas arriba.

Y, por último, si se seccionan los conductos verticales anteriores, la cabeza efectúa movimientos de delante atrás y viceversa, el cuerpo tiende a caer hacia adelante y siguiendo las oscilaciones de la cabeza hace volteretas alrededor de la misma pasando las patas por encima de ella.

La sección de un solo conducto produce trastornos mucho menores.

La extirpación de todos los conductos en masa origina efectos fulminantes. El palomo no puede permanecer en pie, ni estar echado, ni volar, ni ejecutar ningún movimiento combinado, ni aun por un instante guardar cualquier posición en que se coloque. La marcha, el vuelo y la prehensión son imposibles.

En los mamíferos, los efectos consecutivos a las lesiones de los conductos semicirculares son esencialmente los mismos que se han descrito en la paloma, pero además de las oscilaciones de la cabeza se observan en ellos, particularmente en el conejo, oscilaciones de los globos oculares que se llaman *nistagmus*, también en relación con la dirección de los conductos lesionados.

Los animales acuáticos y las ranas, después de la extirpación de ambos laberintos, no pueden nadar en línea recta, y los batracios no pueden saltar derechamente.

Los ratones japoneses de la variedad *danzante*, que fisiológicamente carecen de los conductores horizontales, sólo se mueven en una dirección, a derecha o a izquierda, y persistiendo en uno de estos movimientos describen círculos, no pudiendo moverse hacia adelante ni hacia atrás ni en sentido vertical.

Las lampreas, que sólo tienen dos conductos, únicamente pueden moverse en dos direcciones del espacio.

El pulpo, que no posee conductos semicirculares, pero sí un órgano (*otocisto*) que preside funciones análogas, privado de él gira sin cesar sobre su eje longitudinal.

Grande, por lo tanto, es el papel que los conductos semicirculares desempeñan en la función del equilibrio, pero esto no quiere decir que ellos tengan la exclusiva de la función ni que la lleven a cabo en su totalidad, garantizando por sí solos el equilibrio del hombre en el espacio.

En efecto, la ciencia nos dice que la estado recepción es producto de varios factores correspondientes a otros tantos sentidos del equilibrio, a saber: el *sentido visual del espacio*, a cargo de la retina; el *sentido táctil del equilibrio*, función de la piel; el llamado *sentido muscular* o de las *actitudes*, encomendado a los músculos y a las articulaciones, que gozan de sensibilidad especial; aunque sea justo reconocer que el sentido auricular del equilibrio sea un factor de los más importantes.

Que el laberinto no es el solo órgano que adquiere la noción de equilibrio lo confirman los siguientes hechos:

Primero. Conocidos son los trastornos consecutivos a la destrucción de los conductos semicirculares fraccionalmente y en masa en las aves; pues bien: todos ellos se corrigen lentamente, acabando por desaparecer, en general, transcurridos unos veinte días después de la sección parcial, y mayor tiempo, hasta algunos meses, para la total extirpación, y es racional pensar que esta progresiva atenuación y desaparición de los desórdenes de la equilibración se deba a fenómenos de suplencia funcional, conseguidos por órganos que están facultados para ello.

Segundo. Los fenómenos descritos en algunos mamíferos en que la extirpación del laberinto va acompañada de

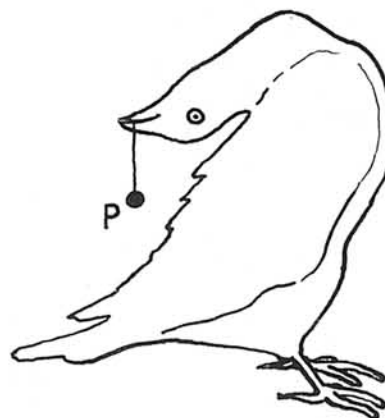


Fig. 3.

trastornos oculares (*nistagmus*) conducen a la suposición de que existan relaciones mutuas entre el sentido auricular y el sentido visual de la estado recepción.

Tercero. El hecho de que la paloma objeto de la experiencia de extirpación del laberinto, después de suplir en gran parte el equilibrio, con el transcurso del tiempo presente algún trastorno de otra índole, que parece persistente. Trátase de la considerable relajación de los múscu-

los en estado de reposo, disminución de la fuerza de contracción y menos precisión en los movimientos, pérdida, en una palabra, del tono muscular normal. El experimento siguiente es muy demostrativo: Suspendiendo del pico de una paloma en las condiciones antes citadas de operación y restablecimiento, una esférula de unos 20 gramos de peso sujeta por un hilo, se observa que si se imprimen movimientos de péndulo a la bola, la cabeza del animal sigue las oscilaciones, pudiendo suceder que la esfera de plomo, llevada por su peso, llegue hasta el dorso del animal, tomando la cabeza de éste apoyo por la nuca sobre la espalda (fig. 3). Esto indica que los músculos flexores del cuello, debilitados, no pueden soportar un peso muy ligero para un animal normal. De las varias deducciones que del citado hecho se derivan, queremos nosotros esgrimir la de que si la destrucción del laberinto lleva aparejada la disminución del tono muscular, éste debe tener gran conexión con el laberinto y por vía centrípetas ha de proporcionar informes de equilibrio.

Cuarto. Los sordomudos, a quienes falta el laberinto en absoluto, poseen, no obstante, el sentido de la orientación y del equilibrio.

Quinto. En el llamado vértigo de Purkinje, que se logra haciendo girar con los ojos abiertos a una persona durante algún tiempo sobre su eje longitudinal, con lo que se consigue que, al detenerse, le parezca que los objetos que le rodean giran en dirección contraria a la que él siguió, y que si se le ordena cerrar los ojos, crea que continúa dando vueltas en la dirección real que le imprimió el giro; nos interesa ver una relación entre la noción visual u objetiva del equilibrio y la laberíntica o subjetiva, de cuyo desacuerdo, según E. de Cyón, se origina el vértigo.

Estudiemos ahora el otro factor de la estado recepción, o sea el sentido muscular, cuya denominación no implica que esta sensación sea suministrada únicamente por elementos sensoriales específicos situados en los músculos, como después veremos, y hagamos el análisis de la noción del sentido muscular.

Los hechos en que se apoya esta noción se agrupan en tres clases:

Primero. Tenemos la sensación de la posición de nuestros miembros en el espacio. Aun con los ojos cerrados y en la más completa inmovilidad nos damos cuenta de la posición de cada uno de nuestros miembros y de nuestro cuerpo.

Segundo. Tenemos la sensación de los movimientos pasivos comunicados a uno o varios de nuestros miembros y a todo nuestro cuerpo, aun con los ojos cerrados. Esta noción es distinta de la precedente, como lo demuestra el hecho de que faradizando intensamente un dedo hasta conseguir la pérdida de la sensación de la posición del mismo, persiste la de los movimientos comunicados.

Tercero. Poseemos la sensación de los movimientos producidos por la contracción de los músculos voluntarios y también la de resistencia que pueden encontrar estos movimientos (*sensación de esfuerzo*); por ellas podemos, durante la ejecución de un movimiento, regular a cada instante las contracciones que deben tener lugar.

Estas sensaciones, unas estáticas o sensaciones de actitud y otras cinéticas, que pueden ser de movimiento pasivo o activo, tienen diversas procedencias.

Las sensaciones de actitud serían debidas a las mismas sensaciones que contribuyen a la percepción de los movimientos, reductibles a un complejo de sensaciones cutáneas, articulares y musculares. Sin embargo, el hecho experimental antes citado y el de enfermos que habiendo perdido la sensación de actitud conservan la sensación de movimiento, nos dicen que hay algo más en la noción de actitud que la simple apreciación de los desplazamientos de la piel y de las articulaciones y de los movimientos musculares que han debido producirse para llevar tal o cual segmento de miembro a una posición determinada. Esta es la *noción de localización*.

Esta noción de localización se obtendría para cada una de las regiones de nuestro cuerpo a base de los diversos estados de conciencia consecutivos a la reiteración de las distintas actitudes. Si suponemos, por ejemplo, un brazo doblado en ángulo recto se producirá un complejo de sensaciones debidas a las impresiones causadas por el contacto de las superficies articulares del codo, por la tracción ejercida sobre los ligamentos, por la acción de la gravedad sobre el antebrazo, por la contracción de los músculos del brazo correspondiente a este grado de flexión, etc. Si se modifica la flexión del antebrazo sobre el brazo, doblándolo más hasta conseguir el ángulo agudo, corresponderán otra serie de sensaciones y será distinto el consiguiente estado de conciencia; los órganos muscularticulares desplazados se hallarán en condiciones nuevas de tracción y de presión mutuas, la excitación resultante de estas nuevas condiciones físicas será distinta de la que actuaba antes e igual razonamiento podrá aplicarse a toda nueva posición y a toda la serie de posiciones intermedias y sólo al cabo de una reiteración innumerable de tales posiciones se adquiere la noción de actitud de todos los segmentos de nuestro cuerpo de una manera al parecer automática, pero que entraña una operación psíquica aunque rápida y subconsciente, utilizando datos sensoriales de diversos orígenes.

Las impresiones cinéticas de los movimientos pasivos las suministra la sensibilidad articular, aunque no de manera exclusiva, pues se ha observado que la supresión de la sensibilidad de la piel va en algunos casos acompañada de la ausencia de percepción de los movimientos pasivos. Y la sensación de los movimientos activos es el complejo resultante de sensaciones cutáneas, articulares y musculares, ya que las cápsulas articulares están preparadas para la sensibilidad por poseer en su textura íntima unos corpúsculos análogos a los táctiles de Pacini de la piel y está fuera de duda la existencia en los músculos de los nervios miotésicos, a los que está encomendada la sensibilidad muscular.

Aplicados todos estos conocimientos a la conservación del equilibrio del hombre en el vuelo, y considerando que su aparato de equilibrio laberíntico está fundamentalmente constituido para pequeños desplazamientos, ya que la dinámica fisiológica de la especie humana se limita a la marcha, carrera, salto y natación, y no acusa sino bruscos

giros y cambios de posición, mal puede notificar por sí solo los cambios de dirección en los grandes virajes, *loopings*, *tonneaux*, etc., para cuya percepción necesita del control de la vista.

Por otra parte, el sentido muscular que tanto ayuda al equilibrio se halla en vuelo mediatizado, ya que por estar el avión en el aire le falta al piloto la referencia del contacto de los pies con el suelo, y como además en la inmovilidad y a medida que se prolonga se debilita la sensación de actitud, cabe pensar en que apoyándose el piloto en el aparato tan sólo con las regiones glútea y dorsal, puesto que los pies y las manos van atentos a la maniobra, cuando sobreviene a consecuencia de un largo vuelo la fatiga natural, no puede apreciar cuál de las dos regiones gravita más intensamente y por ende formar juicio acerca de la posición que mantiene en el espacio si efectúa el vuelo entre nubes. Llegados a este punto, conviene exponer los resultados de la experimentación sobre la báscula de Sanford.

Esta báscula (fig. 4) consiste en una tabla de la longitud apropiada a la talla de un hombre y que gira alrededor de un eje situado en su punto medio. En la extremidad inferior y dispuesta en ángulo recto con ella, tiene una

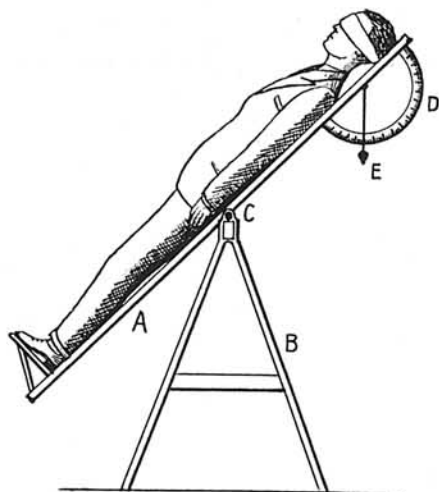


Fig. 4.
Báscula de Sanford.

pequeña plataforma para apoyo de los pies del sujeto sometido a la experiencia, y en la parte superior y al respaldo de la misma, un semicírculo dividido en grados, de cuyo centro pende una plomada cuya cuerda de suspensión indica la inclinación sobre la vertical que sufre el aparato al bascular. Pues bien: colocando a un hombre sano y normal de pie sobre la báscula con los ojos vendados y manteniendo aquélla en posición vertical, el sujeto manifiesta que se encuentra inclinado hacia delante. Si se hace girar la báscula hacia atrás se observarán los siguientes fenómenos: los ángulos inferiores a cuarenta grados le parecerán muy pequeños, los de cuarenta grados a sesenta grados serán estimados correctamente, y los de más de sesenta grados los interpretará muy gran-

des, declarando que se encuentra en posición vertical cabeza abajo.

Relacionando estos conocimientos a los vuelos sin visibilidad, podemos deducir las siguientes conclusiones:

Primera. El piloto que vuela entre nubes lo hace con un déficit del sentido del equilibrio del espacio o estato receptor, por carecer de los informes que normalmente le proporciona el sentido visual del equilibrio ya que no tiene la referencia del horizonte y se ve forzado a efectuar el vuelo en iguales condiciones que si llevase los ojos vendados.

Segunda. El sentido auricular del espacio, preparado en el hombre para la marcha, carrera, salto y natación, no será exacto para apreciar por sí solo los grandes desplazamientos que el avión en vuelo experimenta en todas las direcciones, lo mismo si se trata de comprobar los que obedecen a maniobras del piloto que los que la violencia de los elementos atmosféricos puedan imprimir al aparato.

Tercera. Siendo el sentido llamado muscular tan complejo, tan propenso a la fatiga y tan dado a errores, no puede por sí solo ni en combinación con el sentido auricular suplir total o parcialmente al sentido visual.

Como ejemplos de la deficiencia del sentido del equilibrio por ausencia del control visual se nos ocurren los siguientes: un viraje constante del aparato no podrá nunca ser comprobado por falta de referencia visual, y esto supone, sostenido durante largo tiempo, una desviación considerable en el rumbo del vuelo. No pudiendo apreciar el piloto los ángulos con la vertical, inferiores a los cuarenta grados, cabe el que sin darse cuenta de ello encabrite el avión hasta la posición de *looping*, y una vez en ella si la rebasa y llega a los sesenta grados, en la que hemos visto que con los ojos cerrados se tiene la sensación errónea de estar cabeza abajo, cabe el que ejecute la fatal maniobra de cortar motor en este momento con todas sus trágicas consecuencias.

He aquí expuestos dos ejemplos, que el competente y prestigioso auditorio podría multiplicar, de los peligros de los vuelos entre niebla que tantas víctimas han causado, que no lo hubiesen sido si el primer piloto que se encontró ante un mar de nubes se hubiese detenido en el umbral y no hubiese pedido a la destreza de sus manos lo que la Ciencia pudo resolverle hace ya tiempo con los instrumentos que hoy se utilizan en los vuelos sin visibilidad exterior.

BIBLIOGRAFÍA

- TESTUT: *Tratado de Anatomía*.
E. GLEY: *Tratado de Fisiología*.
BOTTEY: *Tratado de Oto-rino-laringología*.
E. J. MOURE et P. CAUZARD: *Examen fonctionnel du labyrinth*.

NOTA. — Los dibujos que acompañan el texto son debidos a la amabilidad y al hábil lápiz del piloto D. Francisco Coteriallo, a quien damos desde estas líneas las más rendidas gracias.