

La intercepción de objetos en movimiento bajo la guía visual

Pérez Martínez José Antonio¹

RESUMEN

Introducción: El atrape de objetos en movimiento representa un paradigma para el estudio de la coordinación visomanual, además de que puede auxiliar en la comprensión de la forma en que el cerebro efectúa el cómputo para la realización de dicha coordinación. **Objetivo:** El propósito del presente artículo fue proporcionar un marco de referencia de los aspectos principales involucrados en la intercepción o atrape de un objeto en movimiento. Se exponen conceptos relacionados con el tiempo de cierre de los huecos espaciales presentes en la situación de atrape, así como del cierre sincronizado de diferentes huecos. Se muestra el papel de los aspectos visuales en la precisión de la intercepción, donde la visión monocular y binocular se han considerado como elementos importantes. Así, este trabajo plantea la identificación de analizadores de movimiento en el lóbulo temporal. Además, se considera la relevancia del contexto, debido a que proporciona el flujo óptico del desplazamiento de la bola en el ambiente. Este artículo también muestra estudios enfocados a un modelo interno de gravedad. Tal es el caso del hallazgo de actividad electromiográfica en algunos músculos del brazo antes del impacto de la bola en la mano, esto indicó la presencia de inferencias cognoscitivas a priori. Cuando los sujetos atraparon objetos bajo gravedad terrestre y microgravedad, el sistema nervioso utilizó un modelo interno para estimar el tiempo de contacto con el objeto. Se considera evidencia sobre el papel de la corteza vestibular en el procesamiento de la gravedad y la percepción del movimiento. **Conclusión:** Finalmente, se propone que la investigación futura se oriente a solucionar controversias a partir de las líneas de investigación que han abordado el fenómeno.

Palabras clave: atrape, coordinación visomanual, percepción visual, control sensoriomotor.

Rev Mex Neuroci 2006; 7(5): 385-390

Interception of moving objects under visual guidance

ABSTRACT

Introduction: Catching a moving ball represents a paradigm to study visuomanual coordination; moreover, it can help in knowledge how the brain solves computational aspects of this coordination. **Objective:** The propose of this article was to provide a general perspective of main aspects in catching or interception of moving objects. Some essential concepts time-to-closure of spatial gaps in catching task are exposed, as soon as, the closing of gaps synchronously in this task. The role of visual aspects in catching is explained, both monocular and binocular vision have been importants in precision for timing a ball catching. Moreover, it is mentioned the identification of areas in temporal lobe, these are involved at the processing of objects' movement by brain. Surrounding information is considered, because it provides an optic flow of ball into the environment. This paper also describes several researches over an internal model of Earth's gravity. Studies found electromyography activity in some arm's muscles before to ball-hand impact; this aspect indicates that preparation for catching involved cognitive inferences. When the subjects caught balls under Earth's gravity and microgravity, also, the nervous system utilized an internal model to estimate time-to-contact of object in hand. The effort for to locate specific areas involved in catching have provided evidence of how brain's vestibular cortex is implicated into processing of gravity's effects in movement and visual motion. **Conclusion:** Finally, in future studies will hopefully elucidate controversies among the investigation fields that have been studying the phenomenon.

Key words: Catching, visuomanual coordination, visual perception, sensoriomotor control.

Rev Mex Neuroci 2006; 7(5): 385-390

1. Egresado de la Maestría en Rehabilitación Neurológica. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. México, D.F.

Correspondencia:

Dr. José Antonio Pérez Martínez

Calle 35, No. 117.

Col. Jardines de Santa Clara.

C.P. 55450. Ecatepec.

Estado de México. México.

Tel.: 5776-0460.

Correo electrónico: antperezinv@yahoo.com.mx

INTRODUCCIÓN

Las acciones que realiza nuestra mano en coordinación con la vista son muy variadas, de esta gama de acciones, el presente artículo considera sólo el atrape o intercepción de objetos en movimiento bajo la guía visual, debido a que se ha considerado como un paradigma en el estudio de la coordinación visomanual, además de que auxilia en el conocimiento de cómo el cerebro resuelve aspectos computacionales de dicha coordinación.^{1,2}

La intercepción de un objeto en movimiento es la situación donde la mano interfiere con la trayectoria que sigue dicho objeto, deteniéndolo o desviándolo en su desplazamiento.

En un movimiento como el que realiza la mano para lograr atrapar un objeto se requiere de información acerca del contexto en que se presenta la situación, la posición de la extremidad, además de la orientación y localización del cuerpo en relación con el entorno y el objeto.³

Se ha reconocido que la manipulación de objetos en movimiento requiere el control fino de los mecanismos de la extremidad, éstos representan la interfase entre los comandos neurales y el ambiente. Las representaciones internas, así como las propiedades físicas del objeto y la posición de la extremidad efectora son utilizadas por el cerebro para construir un modelo de referencia dinámica útil en el éxito de la acción de intercepción.²

Los estudios que han abordado el fenómeno se han enfocado principalmente en la representación interna de variables cinéticas relativas al movimiento de los cuerpos, así como en la construcción de desarrollos teóricos que consideran la variable tiempo en la acción del atrape.⁴

El presente trabajo tiene como objetivo proporcionar un marco de referencia de los aspectos fundamentales involucrados en la tarea de intercepción de un objeto en movimiento.

CONTROL DEL ESPACIO Y TIEMPO EN LA INTERCEPCIÓN

El tiempo de contacto (TDC) se refiere a la variable que indica el intervalo de tiempo que transcurre desde que la mano inicia el movimiento encaminado a la intercepción, hasta que logra el detenimiento o desviación de la trayectoria del objeto.

En la acción de intercepción de un cuerpo en movimiento es esencial que el individuo coordine el desplazamiento de su mano, con lo cual se orienta a lograr el objetivo de la intercepción, lo que constituye un movimiento dirigido.

En la intercepción de un objeto se encuentran presentes varios huecos en el espacio, si por un momento detenemos la acción observamos separaciones entre los elementos presentes en la situación de atrape, la figura 1 muestra la situación de intercepción de una bola, en ella se pueden observar los siguientes huecos espaciales: el ubicado entre la mano y el objeto, el que está de la mano al punto de atrape (el punto hipotético donde el individuo realizará la captura), y el hueco que se encuentra entre el objeto y el punto de atrape. En el movimiento dirigido un aspecto básico es el control del cierre de los huecos espaciales entre la mano (efector) y los demás elementos.⁵

El cierre del hueco espacial debe percibirse por alguna forma de receptor sensorial (óptico, acústico, etc.).⁵ Cabe indicar que la acción de atrapar un objeto en movimiento cotidianamente se percibe por el sentido de la vista; de manera que cuando los desplazamientos de la mano no se pueden observar su acción generalmente carece de precisión.⁶ El hecho de que el hueco espacial sea coordinado por la vista permite ajustar el movimiento de la mano en referencia al movimiento propio del objeto, es decir, un control prospectivo con una continua retroalimentación de la información derivada de la situación.

La intercepción de un cuerpo con un desplazamiento, puede ser considerada como un movimiento dirigido.⁷ En este tipo de movimiento lo que principalmente se percibe y se llega a controlar es el tiempo de cierre de los huecos espaciales, cada uno de los cuales se ha denominado como tau (τ).^{5,7}

La acción de intercepción de una bola en movimiento se encuentra conformada por la presencia de varios taus complementarios; a manera de ejemplo en la figura 1 se pueden apreciar los siguientes: el τ que se encuentra en el hueco espacial ubicado entre el objeto a interceptar y el punto de atrape, el τ que se forma en el hueco de la mano al punto de atrape, y finalmente el τ entre la mano y el objeto.

Para que la intercepción tenga éxito los huecos espaciales deben cerrarse de manera sincronizada, una de las estrategias para lograr lo anterior es asociar los taus de los huecos involucrados en la tarea con base en la unión de los taus, es decir por un tau unido (τ -u).⁷

La manera de coordinar el cierre de dos huecos espaciales, por ejemplo X y Y, se daría por la pre-

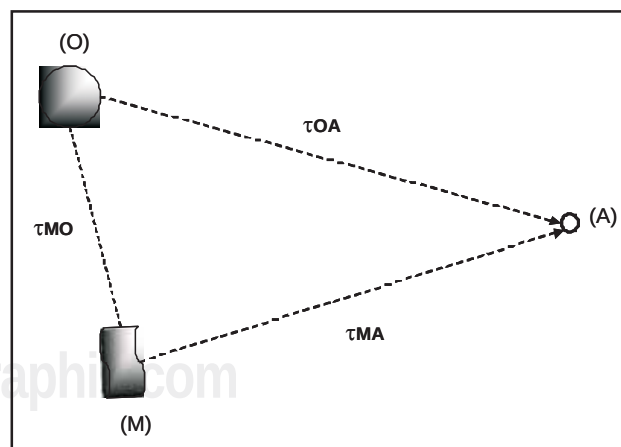


Figura 1. Elementos presentes en la intercepción de un objeto en movimiento. O: objeto, M: mano, A: punto de atrape. τ MO: tau de la mano al objeto, τ MA: tau entre la mano y el punto de atrape, τ OA: tau del objeto y el punto de atrape.

sencia de un τ -u que comprende el tau de X (τ -x) y el tau Y (τ -y) durante el movimiento, permitiendo que se cierren simultáneamente dichos huecos, los planteamientos anteriores se representan en la siguiente ecuación: $(\tau-y) = k (\tau-x)$. Donde k es una constante, la presencia de ésta se debe a que cuando el hueco X se cierre τ -x llegaría a un valor de cero, al igual que τ -y. De manera que, el hueco espacial Y se cierra de manera sincronizada con el hueco X. Así, el parámetro k regularía el cierre de los huecos involucrados, es decir, los cambios del hueco Y por unidad de aumento o disminución en X.⁵

Diversas investigaciones han mostrado la importancia del τ -u en la intercepción de objetos en movimiento. El equipo de Lee y cols.⁷ estudiaron la intercepción de un objeto en movimiento, por medio de un diseño que consistió en presentar una situación virtual en un monitor de computadora, el objeto a interceptar se movió a una aceleración, desaceleración y velocidad constantes. Los sujetos debían mover el cursor en la pantalla de la computadora, el cual representó a un efector (mano, raqueta, etc.), desde el lugar de inicio hasta el sitio donde se estableció el punto de atrape. La trayectoria que presentó el desplazamiento del objeto fue de manera ascendente. Los resultados mostraron que los sujetos controlaron el movimiento del efector con base en la información presente en la situación. La evidencia encontrada corroboró la hipótesis de que el movimiento del efector se realizó con base en un τ -u, es decir, por la unión de los siguientes taus: el que se ubicó del efector al objeto, y el que se encontraba entre el efector y el punto de atrape.

Los resultados anteriores fueron examinados por Brouwer, Brenner y Smeets,⁸ quienes utilizaron el mismo diseño experimental que Lee en el estudio expuesto arriba, con la diferencia de que controlaron el movimiento del efector en: lento, intermedio y rápido; además de que su desplazamiento fue independiente del perfil de velocidad del objeto virtual. Los resultados indicaron a los autores que la acción de interceptar objetos virtuales, con un punto establecido para el atrape, se daría por un τ -u como lo planteó Lee; sin embargo, los taus que conformaron el τ -u difieren, debido a que los sujetos establecieron su intercepción con base en la unión del τ ubicado entre el punto de atrape y el efector, así como el τ localizado entre el objeto y el punto de atrape.

Los planteamientos anteriores sugieren que el desplazamiento que realiza la mano en la acción de intercepción requiere de la información del movimiento de la bola en relación con la mano y el punto de atrape, donde las respuestas motoras se-

rían enlazadas a un margen específico del cierre de los huecos físicos en el espacio.²

EL ÁMBITO VISUAL EN LAS TAREAS DE INTERCEPCIÓN

Uno de los aspectos fundamentales en la tarea de intercepción de un objeto se refiere a que el sujeto perciba el fenómeno, es decir: la trayectoria de la bola, el contexto y el movimiento que realiza la mano. El campo de flujo óptico puede representar primariamente el origen visual para el cálculo del tiempo de contacto.² La luz que refleja la superficie de los objetos en la retina del ojo tiene la característica de ser información óptica estructurada de un punto determinado de observación, cada uno de éstos proporciona información particular de un momento determinado; cuando movemos la cabeza en relación con el ambiente, la información óptica cambia de un momento a otro, estos cambios en la información originan un campo de flujo óptico.³

El control del cierre de los huecos espaciales en la tarea de captura de objetos requiere de la percepción visual, debido a que los movimientos de la mano son ajustados continuamente con base en la información visual derivada del cambio de posición y velocidad del objeto.⁹

Respecto a lo anterior, se ha examinado la contribución de la visión binocular en los movimientos de intercepción y búsqueda que realizan los humanos, para ello se estudiaron 10 sujetos que interceptaron objetos proyectados hacia ellos, éstos fueron tres bolas de madera con diámetros entre 2.5 y 7 cm. Los hallazgos mostraron que no existieron diferencias entre las condiciones de visión monocular y binocular con respecto al perfil de velocidad de la mano para lograr la intercepción. Es muy probable que en visión monocular proporcionara información adecuada de la dirección y profundidad del objeto, con el fin de facilitar el control de los movimientos de la mano al atrapar un objeto.¹⁰

Si bien, el estudio anterior se enfocó en resaltar la importancia de la visión monocular y binocular en las situaciones de intercepción, existen observaciones que indican diferencias en la forma en que participan en el atrape de objetos en movimiento. La intercepción de una bola en desplazamiento presenta dificultades a la percepción visual debido a que se debe lograr la estimación precisa del arribo de la bola o TDC; esto se logra con base en información proveniente de dos fuentes: la monocular derivada del cambio del tamaño del objeto en la retina y la que proviene de la disparidad binocular, que se refiere a la diferencias entre las proyecciones retinales de un punto en el espacio.^{11,12}

Las acciones que involucran el hacer contacto con superficies demandan una regulación perceptual

del impacto.¹³ De manera que, cuando la mano no se observa durante el desplazamiento la intercepción generalmente no es precisa.⁶

En la literatura se ha reportado la importancia de la percepción visual del contexto en el que se da el atrape de una bola. Tal es el caso de Tremblay y Proteau,¹⁴ quienes realizaron una investigación cuyo objetivo fue determinar si el dominio de una tarea de intercepción de pelotas en movimiento se relaciona con la información del contexto y la trayectoria del objeto; el grupo de estudio estaba compuesto por 62 estudiantes, los cuales interceptaron manualmente una pelota de ping-pong lanzada a una superficie transparente. Las acciones a realizar consistieron en interceptar la bola en las siguientes condiciones de visibilidad: una de visión normal y otra donde sólo se podía observar la bola. Los resultados indicaron que el grupo bajo visión normal se desempeñó mejor que el grupo donde sólo se observó la bola, lo anterior sugirió que la visión de la mano y del entorno proporcionó una fuente de información importante para el movimiento de intercepción. La importancia del contexto también se ha registrado en trayectorias que involucran distancias largas (aproximadamente 50 m) como las que presenta la bola que los jardineros deben atrapar en un juego de béisbol. Para ello, estos jugadores realizan su carrera hacia la parte más lejana del campo manteniendo una trayectoria relativa a la observación del desplazamiento que realiza la bola, el fondo del escenario y el punto donde inició el movimiento la pelota.¹⁵

Por otro lado, se ha llegado a plantear la posibilidad de que el flujo óptico sea procesado centralmente por los analizadores de movimiento de corto rango que dependen directamente de unidades sensitivas a la detección del movimiento.² En los últimos años se han publicado estudios que proporcionan evidencia sobre áreas de la corteza cerebral involucradas en el procesamiento del movimiento de objetos. En la corteza visual humana se localizó el área MT+, la cual es un complejo celular especializado en el movimiento, éste se compone principalmente de las áreas: medial temporal visual (MT) y superior medial temporal (SMT).¹⁶

Numerosos estudios con primates, principalmente en macacos, han explorado el área MT para estudiar los circuitos neuronales que subyacen en el procesamiento del movimiento y la profundidad, así como las relaciones existentes entre la actividad neuronal y la percepción. Las respuestas visuales de las neuronas ubicadas en el área MT son determinadas por la presencia de las siguientes propiedades derivadas de los estímulos visuales del ambiente: posición en la retina, dirección y velocidad del movimiento, disparidad binocular y tamaño del objeto.¹⁷

Respecto a lo planteado anteriormente, recientemente se ha reportado que hay activación en la corteza visual primaria, especialmente en el área MT+ humana en acciones que involucraban juicios basados en la percepción del TDC de esferas en aproximación hacia el sujeto, los individuos tenían que realizar juicios en relación con proponer qué objeto arribó primero. Los resultados encontrados mostraron que el papel más relevante del área MT+ en relación con el cálculo del TDC fue generar una señal asociada a la expansión óptica del objeto.¹⁸ Así, en otra investigación se encontró que durante la persecución visual de objetos virtuales se activó una importante porción del complejo MT+, de manera que contribuyó junto con las áreas MT y SMT en el procesamiento del movimiento de objetos.¹⁶

MODELOS INTERNOS DE LA INTERCEPCIÓN DE OBJETOS EN MOVIMIENTO

La información visual presente al momento de la intercepción puede no ser suficiente para las respuestas motoras de la extremidad, ésta debe ser integrada e interpretada de manera cognoscitiva en el sistema nervioso central (SNC).²

En relación con los planteamientos anteriores Lacquaniti y Maioli¹ investigaron el patrón de respuestas musculares asociadas con el atrape de objetos bajo la presencia de la visión, se realizaron una serie de tareas que involucraron la captura de varias bolas de 9 cm de diámetro en caída libre desde 0.2 a 1.2 m de altura, los objetos eran de masa diferente, pero tamaño idéntico, se registró la electromiografía (EMG) de varios músculos (bíceps, flexor carpi radialis y ulnaris, tríceps, extensor carpi ulnaris y radialis). Los hallazgos mostraron actividad EMG anticipatoria respecto al momento del impacto de la bola en la mano, dicha actividad anticipatoria se manifestó de la siguiente manera: inicialmente se presentó cierta actividad eléctrica en las fibras (componente primario), seguida de una disminución, posteriormente la actividad eléctrica volvió a aumentar de manera considerable (componente tardío), lo cual continuó hasta después del momento del impacto con la bola. Se planteó que este patrón anticipatorio de actividad EMG se presentó debido a la estimación adecuada de los valores del TDC, lo que indicó que los sujetos realizaron inferencias cognoscitivas en la preparación del atrape.

El equipo de McIntyre y cols.¹⁹ efectuaron un estudio orientado a encontrar las diferencias en el inicio de actividad EMG motora anticipatoria en la intercepción de un objeto en caída libre, bajo diferentes condiciones de gravedad. Para ello, un grupo de astronautas realizó el atrape de una bola de 0.4 kg proyectada de manera descendente desde un

punto inicial de 1.6 m arriba de la mano. Las condiciones de gravedad fueron las siguientes: la gravedad que la Tierra ejerce sobre los cuerpos (1 g) y bajo las condiciones de microgravedad que privan en el espacio (0 g); las respuestas motoras de los músculos se evaluaron con EMG. Los hallazgos indicaron que en el espacio la actividad EMG inició más tempranamente que en la Tierra, en esta última el inicio de las respuestas motoras fue sincronizado con el arribo de la bola en caída libre. Los efectos observados en el espacio mostraron el ajuste que presentaban los sujetos debido a la falta de aceleración gravitatoria. Se concluyó que cuando se atrapaba la bola el SNC usó un modelo interno de gravedad para estimar el TDC de la mano con el objeto en desplazamiento, donde el atrape de la bola presupone un conocimiento de las leyes del movimiento que afectaban el desplazamiento del objeto, con lo cual el SNC podría informar de la aceleración de la caída de la bola.

Acorde con lo hallado en el estudio anterior, Zago y cols.²⁰ reportaron una investigación donde se realizó un diseño con dos experimentos: el primero consistió en dos esferas, una virtual que se proyectó en una pantalla y otra de goma que se desplazó por detrás de la superficie de proyección, lo que impidió que el sujeto la viera, los movimientos de ambas esferas fueron idénticos, al final el individuo interceptaba la esfera de goma al salir del borde inferior de la pantalla; el segundo consistió en observar la proyección de una bola que se movió de arriba hacia abajo, los sujetos se encontraban sentados sosteniendo un ratón de computadora con la mano derecha, éstos apretaron el botón del ratón justo al momento en que la bola virtual llegó al punto de intercepción. Los resultados indicaron que los individuos calcularon la intercepción con la suposición de los efectos de la fuerza de gravedad en la masa del objeto. En este sentido, las acciones motoras EMG en la intercepción de los objetos sometidos a 1 g fueron cronometrados adecuadamente, mientras que las respuestas a los objetos sometidos a 0 g fueron muy tempranas, esto debido a que los sujetos del grupo de estudio esperaban los efectos de la ley de gravedad comunes a la Tierra. Los sujetos no desarrollaron un nuevo modelo apropiado a objetos sometidos a 0 g con el fin de perfeccionar sus acciones motoras en la intercepción, en su lugar adaptaron los parámetros del modelo 1 g preexistente.

El efecto de la fuerza de gravedad terrestre sobre los objetos en caída libre es más que evidente, el papel de la gravedad en el movimiento es construido continuamente por los individuos a través de su experiencia cotidiana, además de que es evaluada por medio de nuestro aparato vestibular.²

Así, el estudio de estos aspectos ha continuado, tal es el caso de Indovina y cols.,²¹ quienes investigaron (las áreas involucradas en la presencia de un modelo interno para el cálculo de los efectos de la gravedad terrestre sobre la aceleración de objetos que la persona percibe a través de la visión); este cálculo es derivado de información graviceptiva, la cual se incorpora en la corteza vestibular y es activada por el movimiento visual. Para estudiar estos aspectos se obtuvieron IRMf de la corteza cerebral, al momento en que a los sujetos se les presentaron diferentes situaciones entre las que estuvieron: una bola con un movimiento ascendente desde un punto de fijación con una aceleración constante, rebotando en la cornisa de una pantalla, con lo cual retornó hacia abajo; adicionalmente a algunos sujetos también se les presentó la expansión transitoria del punto de fijación después de un retardo al final del movimiento de la bola. Además, el desplazamiento de esta última fue sometido a 1 g y a una condición experimental de gravedad negativa donde ésta imprime una desaceleración a la bola (-1 g), es decir, un efecto inverso al de 1 g. Los análisis derivados de la IRMf mostraron que la red neuroanatómica que procesó el movimiento visual del objeto bajo 1 g incluyó la ínsula y conexiones temporoparietales, las cuales se han considerado como regiones importantes de la corteza vestibular; también se demostró que la red vestibular está involucrada en el procesamiento del movimiento visual cuando éste se presenta bajo el efecto de la gravedad terrestre, lo cual mostró elementos para proponer la presencia de un modelo 1 g interno. Entonces, el cálculo de los efectos de la gravedad terrestre sobre la aceleración de objetos que se perciben visualmente se deriva de información de tipo graviceptivo, que se incorpora en la corteza vestibular y es activada por el movimiento visual.

Los resultados de la IRMf hallados por Indovina y cols.²¹ también indicaron que las tareas realizadas con -1 g presentaron una mayor actividad en una región alrededor del surco occipital lateral, esta área podría auxiliar en el cómputo del TDC con base en la posición del objeto y su velocidad, pero no considera la aceleración de la bola, lo cual está en concordancia con el modelo τ . Cabe señalar que recientemente se ha planteado que el cómputo de τ involucra la velocidad constante del objeto en aproximación.²²

CONSIDERACIONES FINALES

La literatura revisada anteriormente ha proporcionado avances importantes desde diferentes posturas, sin embargo, es recomendable que la investigación futura se enfoque en solucionar controversias entre los resultados reportados en

diferentes líneas de investigación, formando un cuerpo de conocimiento coherente, esto con la finalidad de tener mayor claridad en el fenómeno.

Los estudios posteriores podrían incidir en los mecanismos neurales y de arquitectura de redes neuronales involucrados en el procesamiento de variables como el tiempo de contacto, o de aspectos físicos del movimiento de los objetos. Además, incluir en los diseños experimentales trayectorias con distancias mucho mayores.

Por otro lado, las investigaciones que han abordado el modelo interno de gravedad han presentado entre sus métodos tareas que involucran objetos en caída libre, como una forma de observar más claramente los efectos de la gravedad; es importante considerar otro tipo de trayectorias como las de tipo balístico, las cuales con base en las leyes de Newton, también se encuentran bajo el efecto de la fuerza de gravedad.

Es interesante profundizar en la forma en que desde la infancia los sujetos construyen una suposición a priori de los efectos de la fuerza de gravedad en el movimiento de los cuerpos.

Finalmente, se ha identificado que la intercepción, desde los planteamientos del τ , se da en el uso de un τ -u, sin embargo, existe una discusión respecto a los τ aus que estarían involucrados,^{7,8} es importante identificar realmente qué τ aus se encuentran presentes, con el fin de lograr certidumbre en este ámbito.

REFERENCIAS

1. Lacquaniti F, Maioli C. The role of preparation in tuning anticipatory and reflex responses during catching. *J Neurosci* 1989; 9: 134-48.
2. Lacquaniti F. Neural control of limb mechanics for visuomanual coordination. In: Wing AM, Haggard JR, Flanagan JR eds. *Hand and Brain*. San Diego: Academic Press; 1996, p. 213-37.
3. Lee DN. The optic flow field: the foundation of vision. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 1980; 290: 169-79.
4. Georgopoulos A. catching for real and catching for fun in ecological psychology focus on "Internal models of target motion: expected dynamics overrides measured kinematics in timing manual interceptions". *J Neurophysiol* 2004; 91: 1455.
5. Lee DN. Guiding movement by coupling taus. *Ecological Psychology* 1998; 10: 221-50.
6. Lee DN, Craig CM, Grealy MA. Sensory and intrinsic coordination of movement. *Proc R Soc Lond B Biol Sci* 1999; 266: 2029-35.
7. Lee DN, Georgopoulos AP, Clark MJO, Craig CM, Port NL. Guiding contact by coupling the taus of gaps. *Exp Brain Res* 2001; 139: 151-9.
8. Brouwer AM, Brenner E, Smeets JBJ. When in behavioral data evidence for a control theory? tau-coupling revisited. *Motor Control* 2003; 7: 103-10.
9. Brenner E, Smeets JBJ, Lussanet MHE. Hitting moving targets: continuous control of the acceleration of the hand on the basis of the target's velocity. *Exp Brain Res* 1998; 122: 467-74.
10. Servos P, Goodale MA. Monocular and binocular control of human interception movements. *Exp Brain Res* 1998; 119: 92-102.
11. Qian N. Binocular disparity and the perception of depth. *Neuron* 1997; 18: 359-68.
12. Rushton SK, Wann JP. Weighted combination of size and disparity: a computational model for timing a ball catch. *Nat Neurosci* 1999; 2: 186-90.
13. Craig CM, Delay D, Grealy MA, Lee DN. Guiding the swing in golf putting. *Nature* 2000; 405: 295-6.
14. Tremblay L, Proteau L. Specificity of practice in a ball interception task. *Can J Exp Psychol* 2001; 55: 207-18.
15. Shaffer DM, McBeath MK, Roy WL, Krauchunas SM. A linear optical trajectory informs the filder where to run to the side to catch fly balls. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 2003; 29: 1244-50.
16. Dukelow SP, DeSouza JF, Culham JC, Van den Berg AV, Menon RS, Vilis T. Distinguishing subregions of the human MT+ complex using visual field and pursuit eye movements. *J Neurophysiol* 2001; 86: 1991-2000.
17. Born RT, Bradley DC. Structure and function of visual area MT. *Annu Rev Neurosci* 2005; 28: 157-89.
18. Field D, Wann JP. Perceiving time to collision activates the sensorimotor cortex. *Curr Biol* 2005; 15: 1-20.
19. McIntyre J, Zago M, Berthoz A, Lacquaniti F. Does the brain model Newton's laws? *Nat Neurosci* 2001; 4: 693-4.
20. Zago M, Bosco G, Maffei V, Iosa M, Ivanenko YP, Lacquaniti F. Internal models of target motion: expected dynamics overrides measured kinematics in timing manual interceptions. *J Neurophysiol* 2004; 91: 1620-34.
21. Indovina I, Maffei V, Bosco G, Zago M, Macaluso E, Lacquaniti F. Representation of visual gravitational motion in the human vestibular cortex. *Science* 2005; 308: 416-19.
22. López-Moliner J, Maicha A, Estaún S. Perception of acceleration in motion-in-depth with only monocular and both monocular and binocular information. *Psicológica* 2003; 24: 93-108.