



Universitat de Lleida

# **Emergencia de comportamiento en deportes de implemento desde una perspectiva compleja**

Una propuesta para la revisión de la mirada de las y  
los Educadores Físicos Deportivos

Enrique Lacasa Claver

<http://hdl.handle.net/10803/673897>



*Emergencia de comportamiento en deportes de implemento desde una perspectiva compleja. Una propuesta para la revisión de la mirada de las y los Educadores Físicos Deportivos* està subjecte a una llicència de [Reconeixement-NoComercial 4.0 No adaptada de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Les publicacions incloses en la tesi no estan subjectes a aquesta llicència i es mantenen sota les condicions originals.

(c) 2022, Enrique Lacasa Claver

**Tesis Doctoral**

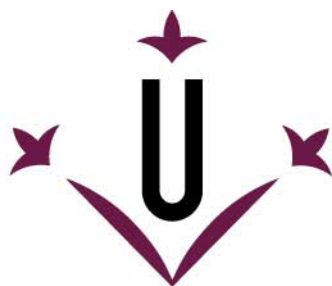
# **Emergencia de comportamiento en deportes de implemento desde una perspectiva compleja**

Una propuesta para la revisión de la mirada de las y  
los Educadores Físicos Deportivos

**Lacasa Claver, Enrique**







**Universitat de Lleida**

**TESI DOCTORAL**

**Emergencia de comportamiento en deportes de  
implemento desde una perspectiva compleja**

Una propuesta para la revisión de la mirada de  
las y los Educadores Físicos Deportivos

Enrique Lacasa Claver

Memòria presentada per optar al grau de Doctor per la Universitat de Lleida  
Programa de Doctorat en Activitat Física i Esport

Director/a

Dra. Carlota Torrents Martin  
Dr. Cristòfol Salas Santandreu

Tutor

Dr. Cristòfol Salas Santandreu

2022

Tapa: Agustín Ortega Bragado (@odagarb)

Diseño y maquetación: Aina Rafart Costa

Printing: [www.laimprentacg.com](http://www.laimprentacg.com)

El trabajo de esta tesis se realizó en el Instituto Nacional de Educación Física de Catalunya (INEFC), Universitat de Lleida (UdL), Lleida, España, dentro del proyecto 2016 PINEF 00002 La creatividad motriz como fenómeno complejo: criterios para su desarrollo. Se agradece el apoyo económico en las publicaciones y actividades derivadas de esta tesis a través del Programa de Promoció de la Recerca PARINEFC 2017-22.



Este estimulante proyecto, así como los innumerables aprendizajes adquiridos, no hubieran sido posible sin la extraordinaria generosidad y complicidad de, tantas y tantas, personas e instituciones. No soy capaz de reunir, ni adecuadas ni suficientes, palabras de agradecimiento a los equipos de apasionadas/os profesionales del INEFC-UdL, Club INEF, FECAB, Ekke-Viding, CEIP Sant Jordi, Realtrack System, Centre for the study of human Performance (CIPER) de la Universidad de Lisboa, Research Center for Visualization, Virtual Reality and Graphics Interaction (ViRVIG) de la Universidad Politècnica de Catalunya (UPC), al Laboratorio de Redes Biológicas del Centro de Tecnología Biomédica (URJC), Complex System in Sports Research Group...compañeras/os, amigas/os y familia. ¡G R A C I A S!

Todos los artículos publicados anteriormente son de co-autoría del autor de esta tesi y se reproducen com permiso de:

- Retos. Nuevas tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación, 41, 354-361. <https://doi.org/10.47197/retos.voi41.81320>
- Revista de Psicología del Deporte, 29(2), 124-132.
- Nonlinear dynamics, psychology, and life sciences, 24(1), 59-78..

Emergencia de comportamiento en deportes de implemento desde una perspectiva compleja. Una propuesta para la revisión de la mirada de las y los Educadores Físicos Deportivos @ 2022 by Enrique Lacasa Claver is licensed under CC BY-NC 4.0. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



## DIRECCIÓ

**Carlota Torretns Martí, PhD, Professora Titular**

Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEFC)

Universitat de Lleida (UdL), Lleida, Espanya

**Cristòfol Salas Santandreu, PhD, Professor Titular**

Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEFC)

Universitat de Lleida (UdL), Lleida, Espanya

## TUTORIZACIÓ

**Cristòfol Salas Santandreu, PhD, Professor Titular**

Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEFC)

Universitat de Lleida (UdL), Lleida, Espanya

# **ABSTRACT**

Despite the pedagogical models developed since the mid-twentieth century, in some sports that have been barely studied by sports research such as padel, badminton or rink hockey, the intervention of Physical Sport Educators (EFD) is often strongly marked by a traditional, reductionist and excessively mechanistic perspective.

For this reason, this doctoral thesis aims to study the consequences of understanding players and teams as complex dynamic systems in EFD interventions. The first objective was to analyse the effects on the motor behaviour and biological responses of players of different ages and experience when modifying task constraints in the initiation and training of rink hockey and padel. The second objective was to identify the occurrence of functional synergies between badminton doubles couples when confronting each other in a match situation in training. From the results and the theoretical review of the conceptualisation of sport training as a complex phenomenon, practical consequences for EFD work in these sports are drawn.

The thesis is presented in a compendium of five publications. The first three are oriented towards the first objective. Data on player behaviour was collected through observational analysis and the use of inertial devices in padel and rink hockey players. The remaining two publications are oriented towards the second objective. In-game positional data were collected to capture interpersonal synergies in badminton doubles.

The findings of this research suggest that the manipulation of task constraints and sport scaling in initiation are good tools for the design of skill acquisition scenarios in training. The small-sided games produced more affordances in number and variety of actions in the case of padel young players. When analysing kinematic, physiological and neuromuscular variables in a small-sided game, we found significantly higher values than those of the real game, both in children and in adults and veterans. This trend was confirmed by proposing two small-sided games and comparing them with the usual playing space of U8 rink hockey players. The behaviour observed, from a technical-tactical, kinematic, physiological and neuromuscular point of view, suggests the use of these proposals for the development of young rink hockey players.

In terms of interpersonal coordination, the studies suggest the existence of interpersonal synergies in approximately half of the exchanges of the shuttlecock analyzed. Players modify their speed to stabilize the distance to their teammate, leading to better collective performance. Close distances provide better conditions for the non-linear adjustments required for the formation of interpersonal synergies in badminton doubles. Results also revealed that by increasing the spectrum of combinations of elements that contribute to stabilizing interpersonal distance, we can find synergies in the totality of exchanges at each point. These synergies showed sensitivity to the elapsed playing time, evidencing a decrease in strength and therefore less adaptive behaviours as the stroke exchange lengthens. The finding of the existence of synergies during play shows the need to conceive couples as complex systems.

We hope that this work can contribute to the reflection and revision of EFD's view of the sports early learning phenomena and sport performance in padel, badminton and rink hockey.

**Keywords:** complexity, ecological dynamics, self-organisation, emergence, constraint-led learning, coordination dynamics, small-sided games, synergy, implement sports, perception-action coupling.



# RESUM

Malgrat els models pedagògics desenvolupats des de mitjans del segle XX, en alguns esports que han estat menys abordats per la recerca, com el pàdel, el bàdminton o l'hoquei patins, en les intervencions de les i els Educadors Físics Esportius (EFD) es constata un fort arrelament d'una perspectiva tradicional, reduccionista i excessivament mecanicista.

Motius pels quals aquesta tesi doctoral es proposa estudiar les conseqüències de concebre jugadores, jugadors i equips com a sistemes dinàmics complexos en les intervencions d'EFD. El primer objectiu fou el d'analitzar l'efecte en el comportament motor i la resposta biològica de jugadores i jugadors, d'edats i experiència diferents, en modificar constrenyiments de la tasca en la iniciació i entrenament a l'hoquei patins i el pàdel. El segon objectiu fou el de capturar sinèrgies funcionals entre parelles de bàdminton dobles quan s'enfrontaven a una altra diada en una situació de partit en un entrenament. A partir dels resultats i la revisió teòrica de la conceptualització de l'entrenament esportiu com un fenomen complex, se'n deriven les conseqüències pràctiques per el disseny de les tasques d'EFD en esports d'implement.

Es presenta la tesi en un compendi de cinc publicacions. Les tres primeres orientades al primer objectiu. Es varen recollir dades del comportament de les i els jugadors a través de l'anàlisi observacional i emprant dispositius inercials en jugadores i jugadors de pàdel i hoquei patins. Les altres dues publicacions s'orienten al segon objectiu. Es recopilaren dades posicionals durant el joc per capturar sinèrgies interpersonals en bàdminton dobles.

Els resultats de la recerca suggereixen que la manipulació de constrenyiments de la tasca escalant elements del joc en la iniciació esdevenen eines interessants per el disseny d'escenaris en l'adquisició d'habilitats esportives. El joc modificat va produir un augment d'oportunitats d'accions (en nombre i varietat) en jugadores i jugadors de categoria benjamí. En analitzar variables cinemàtiques, fisiològiques i neuromusculars en un altre joc reduït en pàdel, vàrem constatar valors sensiblement superiors als del joc real, tant en infants, adults com en veterans. Aquesta tendència es va confirmar en proposar dues situacions de joc modificat i comparar-les amb l'espai de joc habitual de jugadors i jugadores d'hoquei patins menors de vuit anys. El comportament observat, tant des d'un punt de vista tècnic-tàctic com cinemàtic, fisiològic i neuromuscular, suggereix emprar aquestes propostes en el desenvolupament dels i les joves jugadores d'hoquei patins.

Pel que fa a la coordinació interpersonal, els estudis suggereixen l'existència de sinèrgies interpersonals en, aproximadament, la meitat dels intercanvis de cops analitzats. Els jugadors modifiquen llur velocitat per estabilitzar la distància amb el seu company, aconseguint així un millor rendiment col·lectiu. Quan estan més a prop les condicions perquè es produeixin aquests ajusts no lineals, que requereixen la formació de sinèrgies interpersonals en bàdminton dobles, són millors. Els resultats també revelen que en augmentar l'espectre de combinacions, d'elements que contribueixen a estabilitzar aquesta distància interpersonal, descobrim sinèrgies en la totalitat dels intercanvis en cada punt. Aquestes sinèrgies mostraren, a més, alta sensibilitat al temps que transcorre en el decurs del punt. S'evidencia una disminució de la força d'aquestes i per tant comportaments menys adaptatius a mida que s'allarga l'intercanvi de cops. La constatació de l'existència de sinèrgies interpersonals funcionals durant el joc ens anima a concebre les parelles com a sistemes dinàmics complexos.

Esperem que aquest treball contribueixi a la reflexió i la revisió de la mirada d'EFD envers el fenomen de la iniciació i el rendiment esportiu en els esports d'implement.

**Paraules clau:** complexitat, dinàmica ecològica, auto-organització, emergència, aprenentatge guiat pels constrenyiments, dinàmica coordinativa, jocs modificats, sinèrgia, esports de implement, acoblament percepció-acció.

# RESUMEN

A pesar de los modelos pedagógicos desarrollados desde mediados del siglo XX, en algunos deportes que han sido poco estudiados por la investigación deportiva como el pádel, el bádminton o el hockey patines, la labor de las y los Educadores Físico Deportivos (EFD) suele estar fuertemente marcada por una perspectiva tradicional, reduccionista y excesivamente mecanicista.

Por esta razón, esta tesis doctoral se propone estudiar las consecuencias de la comprensión de jugadores, jugadoras y equipos como sistemas dinámicos complejos en la intervención de EFD. El primer objetivo fue el de analizar el efecto en el comportamiento motriz y en la respuesta biológica de jugadoras y jugadores de diferentes edades y experiencia al modificar constreñimientos de la tarea en la iniciación y el entrenamiento al hockey patines y el pádel. El segundo objetivo fue el de identificar la existencia de sinergias funcionales entre parejas de bádminton dobles al enfrentarse a otras en situación de partido en entrenamiento. A partir de los resultados y de la revisión teórica de la conceptualización del entrenamiento deportivo como un fenómeno complejo, se extraen las consecuencias prácticas para la labor de EFD en estos deportes.

Se presenta la tesis en un compendio de cinco publicaciones. Las tres primeras orientadas al primer objetivo. Se recogieron datos del comportamiento de las y los jugadores a través de análisis observacional y del uso de dispositivos inerciales en jugadoras y jugadores de pádel y hockey patines. Las dos publicaciones restantes se orientan al segundo objetivo. Se recopilaban datos posicionales durante el juego para capturar las sinergias interpersonales en bádminton dobles.

Los resultados de esta investigación sugieren que la manipulación de constreñimientos de la tarea y el escalado del deporte en la iniciación son buenas herramientas para el diseño de escenarios de adquisición de habilidades en el entrenamiento. El juego modificado producía un aumento de oportunidades en cuanto al número y variedad de acciones en el caso de jugadoras y jugadores de pádel en categoría benjamín. Al analizar variables cinemáticas, fisiológicas y neuromusculares en un juego reducido en pádel constatamos valores sensiblemente superiores a los del juego real, tanto en participantes infantiles como en adultos y veteranos. Esta tendencia se confirmó al proponer dos situaciones de juego reducido y compararlas con el espacio de juego habitual de jugadoras/es de hockey patines menores de ocho años. El comportamiento observado, tanto desde un punto de vista técnico-táctico como cinemático, fisiológico y neuromuscular, sugiere el uso de estas propuestas para el desarrollo de las y los jóvenes jugadores de hockey patines.

En cuanto a la coordinación interpersonal, los estudios sugieren la existencia de sinergias interpersonales en, aproximadamente, la mitad de los intercambios del volante analizados. Los jugadores modifican su velocidad para estabilizar la distancia con su compañero, consiguiendo un mejor rendimiento colectivo. Las distancias próximas suponen mejores condiciones para que se produzcan los ajustes no lineales que requiere la formación de sinergias interpersonales en bádminton dobles. Los resultados también revelaron que, al ampliar el espectro de combinaciones de elementos que contribuyen a estabilizar la distancia interpersonal, podemos hallar sinergias en la totalidad de los intercambios de cada punto. Estas sinergias mostraron sensibilidad al tiempo de juego transcurrido, evidenciando una disminución de la fuerza y por tanto comportamientos menos adaptativos a medida que se alarga el intercambio de golpes. La constatación de la existencia de sinergias durante el juego muestra la necesidad de concebir a las parejas como sistemas complejos.

Esperamos que este trabajo pueda contribuir a la reflexión y la revisión de la mirada de EFD del fenómeno de la iniciación y el rendimiento deportivo en los deportes de implemento.

**Palabras clave:** complejidad, dinámica ecológica, auto-organización, emergencia, aprendizaje guiado por constreñimientos, dinámica coordinativa, juegos reducidos, sinergia, deportes de implemento, acoplamiento percepción-acción.



# Índice de Contenidos

## PRÓLOGO

## EL ETERNO APRENDIZ DE MAESTRO

## PARTE I

## INTRODUCCIÓN

Capítulo 1	De una mirada reduccionista a la mirada compleja	3
Capítulo 2	La dinámica coordinativa y la manipulación de constreñimientos	15
Capítulo 3	Comprender la interacción social y la emergencia de sinergias	27
Capítulo 4	Objetivos y estructura de la tesis	33
Capítulo 5	Métodos. Participantes, instrumentos de recogida de datos y análisis	39

## PARTE II

## ARTÍCULOS QUE CONFORMAN LA TESIS

Capítulo 6	Pádel: una mirada compleja, dinámica y no lineal en la iniciación deportiva y el entrenamiento	50
Capítulo 7	Rink hockey "ok-xs". Motor behavior effects of scaling games in u8 players	60
Capítulo 8	Hockey patines "XS": ¿Afecta sobre la carga en iniciación?	82
Capítulo 9	Capturing interpersonal synergies in social settings: an example within badminton cooperative task	94
Capítulo 10	How to take a 'portrait' of interpersonal synergies formation? Exemplar data with expert badminton doubles"	116

## PARTE III

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Capítulo 11	Síntesis de los principales hallazgos, aplicaciones prácticas, limitaciones y perspectivas de futuro.	148
Capítulo 12	Conclusiones	160

## REFERENCIAS

166

## APÉNDICE

176

A group of young people, likely a sports team, are gathered in a gymnasium. They are wearing dark athletic wear and are celebrating enthusiastically. Many are holding up green balloons, and some have their arms raised in the air. The background shows a basketball hoop and a net. The entire image has a green tint.

# PRÓLOGO

# El Eterno Aprendiz de Maestro

Echo la vista atrás y caigo en la cuenta de que escribo mi línea de vida en base a recuerdos que giran alrededor del universo de la actividad física y el deporte. Aquel año en que fuimos campeones de Cataluña de Balonmano escolar. Aquel otro en que subimos al Aneto con esquís de travesía...y hasta hoy.

Y si sigo ahondando en esos recuerdos, no puedo dejar de sonreír al percatarme de que, en muchos de esos momentos, el papel que jugaba en esa experiencia vital era el de dinamizador, monitor o profesor. Ya como jugador infantil de balonmano sentía tanto interés por jugar como curiosidad por emular a mis entrenadores tratando de iniciar a jugadoras de mi curso o jugadores apenas dos años menores que yo. Y también hasta hoy.

Puede parecer un gesto de generosidad y altruismo dedicar tu tiempo a que “un extraño” pierda el miedo a deslizarse por una pendiente nevada con esquís, disfrute empuñando una raqueta, o practique el esquema de movimientos en un sistema de juego defensivo. No estoy del todo seguro. Quizá sea puro egoísmo producto del placer y autorrealización que me produce ayudar, aunque sea mínimamente, a conseguir que otro llegue a una mejor versión de sí mismo.

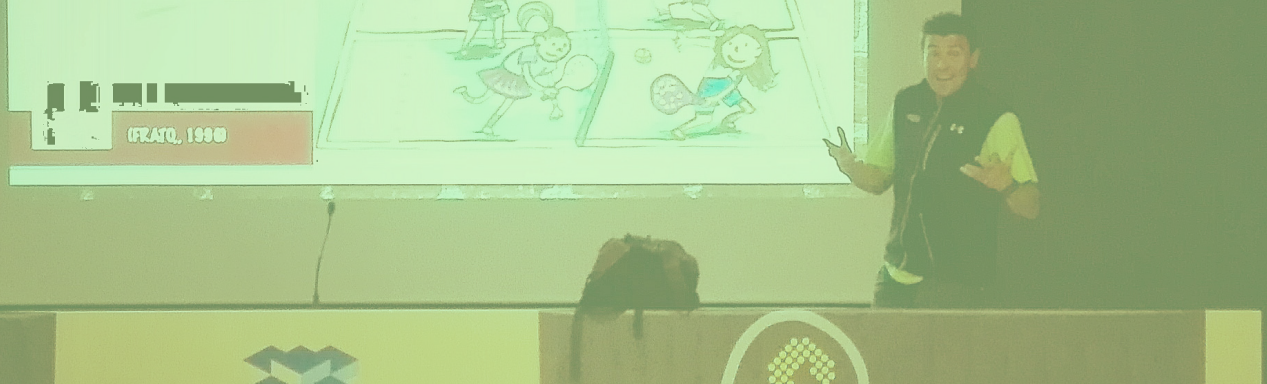
Placer y autorrealización no exenta de compromiso y responsabilidad, por otro lado. Aún con más de 35 años de experiencias diversas en los procesos de enseñanza y aprendizaje a las espaldas, sigo sintiendo “mariposas en la barriga” antes de entrar al aula. Sabiéndome aún tan ignorante, ya no solo de un conocimiento que evoluciona constante y rápidamente, sino de cómo voy a poder gestionar las infinitas variables que acontecen en el escenario de aprendizajes. Y cómo orientarlos hacia experiencias significativas, útiles, que merezcan la pena.

Esos valores y emociones se magnifican cuando se nos brinda la oportunidad y el reto de contribuir a la formación de formadores en, y desde, la educación físico-deportiva. Y no de un sujeto que va a aplicar una serie de progresiones de ejercicios para los que ha sido adiestrado con el fin de desarrollar una determinada habilidad. No.

Tan sólo concibo un profesional reflexivo, crítico, curioso, apasionado. Dispuesto a aprender y aún más a desaprender. Comprometido con el propósito de mejorar las personas y el mundo que habitamos. Abierto a revisar de forma continuada su mirada para tomar conciencia de la realidad cotidiana, transformar la intervención y mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje.







# PARTE

## INTRODUCCIÓN

# 1

**Capítulo 1** – De una mirada reduccionista a la mirada compleja

**Capítulo 2** – La dinámica coordinativa y la manipulación de constreñimientos

**Capítulo 3** – Comprender la interacción social y la emergencia de sinergias

**Capítulo 4** – Objetivos y estructura de la tesis

**Capítulo 5** – Métodos. Participantes, instrumentos de recogida de datos y análisis



# CAPÍTULO 1

De una Mirada Reduccionista a la Mirada Compleja



## *De Una Mirada Reduccionista A La Mirada Compleja*

Esas primeras experiencias como monitor polideportivo a principios de los ochenta estuvieron fuertemente marcadas aún por el paradigma de la ciencia clásica. Dibujar en el suelo las siluetas de los pies para enseñar el correcto ciclo de pasos en la iniciación al balonmano respondía, con toda seguridad, a una visión reduccionista, fragmentada, simplificada y determinista del juego deportivo. Mi concepción sobre cómo aprender y enseñar la técnica de un determinado deporte provenía, mayoritariamente, de mis vivencias como jugador. Y tanto estas, como algunos textos de referencia de los años 70, reforzaban esas visiones reduccionistas y, porque no, quizá extremadamente simplistas.

Fue pocos años más tarde, con el ansiado ingreso en el Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEFC) en Lleida, y aún con alguna formación de monitor a las espaldas, cuando empezaban a tambalearse aquellos cimientos que parecían incuestionables. La teoría general de sistemas (Bertalanffy, 1976), la praxiología motriz (Parlebas, 2008), la perspectiva sociocultural del constructivismo (Vigotsky, 1979), la teoría de transferencia fenómeno-estructuralista (Bonnet, 1983), los modelos comprensivos (Bunker y Thorpe, 1982), la pedagogía crítica (Freire, 1970), etc. me empujaban al abismo de replantearme mis postulados. Aunque, por otro lado, sosegaban las contradicciones que sentía al mirar a los ojos a mis jugadores.

A pesar de la incuestionable evolución que, sin duda, ha experimentado la enseñanza y el entrenamiento de los deportes, algunos de aquellos supuestos continúan fuertemente arraigados en equipos técnicos proclives, además, a recoger información de fuentes informales de aprendizaje auto-dirigidas y de fácil acceso (Pol et al., 2020). No es extraño observar en las escuelas deportivas la reproducción acrítica de los últimos ejercicios que entrenadores exitosos de élite comparten en sus redes sociales. Evidenciando, además, una sensación de que ese conocimiento empírico es mucho más válido para la práctica profesional que el que nos aporta la literatura científica (Balagué, Pol, y Guerrero, 2019), lo que agranda así la persistente brecha entre “teoría y práctica” latente en la cultura de las educadoras y los educadores físico-deportivos (EFD).

Durante los últimos cinco años de “esa línea vital”, a la que hacía referencia, he gozado de la oportunidad de relacionarme con la iniciación y el entrenamiento del pádel, el bádminton y el hockey patines desde diversas facetas. Lo he vivido en calidad de entrenador, gestor, formador de formadores, consultor... y hasta como padre de joven jugador de hockey. Tres modalidades deportivas que comparten la característica del uso reglamentario de un utensilio, herramienta o instrumento (implemento) con el que relacionarse con la pelota o volante para conseguir los objetivos del juego. Quizá por la dificultad intrínseca del manejo de una pala, raqueta, stick o patines, he podido constatar procedimientos, debates y propuestas que claramente indican el peso que la perspectiva tradicional tiene aún hoy en día en este ámbito. En la misma línea Teresa Lleixà afirmaba, en el prólogo del libro sobre la iniciación a los deportes de red y muro (Contreras et al., 2007), que el modelo técnico continuaba, a pesar de ser muy cuestionado, profundamente enraizado en la actividad física en edad escolar. Este fue uno de los motivos por los que los estudios que conforman esta tesis abordan la iniciación y los procesos de enseñanza-aprendizaje de estos tres deportes de implemento, tal y como explicaré en el capítulo dedicado a los objetivos de la tesis.

Es muy posible que a quien lea este texto le asalten a la mente situaciones de niñas y niños en fila esperando su turno para sortear unos conos, o al entrenador (feeder) que les lanza volantes/pelotas mientras trata de ajustar los movimientos de su alumno a la biomecánica del gesto técnico ideal. Procedimientos que se asimilan a una concepción de relación de causalidad lineal, a una visión estática del deporte, a generar unos programas internos a los que recurrir o a la concepción del jugador como una máquina.

Descomponer el trabajo de la técnica del de la táctica, la preparación física de la psicológica, y dentro de la técnica descomponer el listado de gestos técnicos a aprender de forma aislada como unidad básica de entrenamiento, sin considerar la diada (en el caso del pádel o bádminton dobles) o el equipo. Situaciones comunes que ejemplifican como esa mirada reduccionista sigue siendo la predominante en los entrenamientos, hoy en día, en deportes de implemento.

En la citada obra de Contreras y colaboradores (2007) ya encontramos una propuesta que pretende romper con esa tendencia. Se propone una aproximación al fenómeno desde una mirada que integra aportaciones de los modelos estructuralista-funcionalista, del

modelo comprensivo inglés y asumiendo principios del aprendizaje significativo. Y en base a este paradigma plantea un diseño metodológico de aplicación práctica. Propuestas que, personalmente, ya me empujaron a diseñar escenarios de aprendizajes más ricos y adaptados a las exigencias del juego que desde un punto de vista meramente analítico y descontextualizado centrado en el elemento técnico en mis entrenamientos.

Comprender los deportes de implemento desde la mirada que nos proporciona el análisis de la estructura funcional me ayudó, por ejemplo, a reflexionar sobre la definición de los principios operativos del juego (Hernández Moreno, 1994; Larraz, 2009; Méndez Giménez, 2009) bajo los que deben “operar” los elementos técnico-tácticos a lo largo del partido. La perspectiva comprensiva nos permite partir de una situación de juego a partir de la cual estimular el desarrollo de una consciencia táctica (Bunker y Thorpe, 1982; Memmert et al., 2015) y la toma de decisiones previa al desarrollo de los elementos técnico-tácticos que mejore el rendimiento del jugador en el juego. El enfoque constructivista (Ausubel et al., 1989; López Ros y Castejón, 2005) me concilió, como entrenador, en un papel de facilitador y diseñador de contextos de aprendizajes que supone, además, un gratificante reto respecto el papel de controlador central que jugaría desde el modelo analítico. De hecho, me llevó a proponer, y llevar a cabo, una campaña de promoción en la escuela de pádel de Ekke (“a pádel s’hi juga amb el cap”), en un intento decidido de proponer un cambio de rumbo pedagógico respecto el modelo tradicional. La implementación en la práctica me llevó a nuevas dudas. El comportamiento observado en el juego evidenciaba, a menudo, que la comprensión cognitiva del juego no implicaba -necesariamente- el aprendizaje de la acción motriz o de la toma de decisiones. Para que se produzca este aprendizaje, debe existir un acoplamiento de la percepción y la acción. Esta es una de las principales diferencias entre los modelos comprensivos como el Teaching Games for Understanding (TGfU) del juego y las nuevas propuestas de enseñanza-aprendizaje surgidas a partir de la aplicación de la complejidad a la coordinación motriz a finales del siglo pasado (Renshaw et al., 2016).

Así que esa continua revisión de la mirada de EFD me empujó a seguir cuestionándome aquellos preceptos y propuestas, y abrazar una mirada compleja.

La ciencia de los sistemas complejos estudia cómo un gran número de componentes -que a pequeña escala interactúan entre ellos localmente- pueden **auto-organizarse** de manera espontánea mostrando comportamientos y estructuras globales (no triviales) **orientadas a un propósito**. Para ello, no precisan una autoridad central o controlador externo que lidere los comportamientos. Las propiedades del conjunto no pueden entenderse ni predecirlas a partir, simplemente, del conocimiento aislado de cada una de sus partes (De Domenico et al., 2019).

Bajo el marco teórico de las ciencias de la complejidad se consideran numerosas aproximaciones teóricas y prácticas de diferentes características pero que comparten principios fundamentales: sinérgica, la termodinámica no-lineal, o la teoría del caos, los sistemas dinámicos, la dinámica de la coordinación, física ecológica, dinámica ecológica, pedagogía no lineal, aprendizaje diferencial, etc (Pol et al., 2020; Ruiz Perez, 2003). Concebir al/a la jugador/a mientras practica actividades físico-deportivas como un sistema complejo adaptativo significa que, como EFD, debemos plantearnos cuáles son esos principios fundamentales, cómo nos ayudan a comprender los comportamientos y de qué forma va a condicionar sus diseños de aprendizaje a fin de generar intervenciones más eficaces y seguras.

No es el objetivo de esta introducción exponer un listado exhaustivo de dichos principios<sup>1</sup> pero sí el de estimular la reflexión de EFD sobre los principios ignorados al diseñar nuestras intervenciones.

Cuando concebimos a las y los jugadores como sistemas complejos adaptativos (SCA) su comportamiento no puede ser entendido si no es en **interacción con su contexto**. La unidad mínima de entrenamiento estará, pues, conformada por el sistema jugador-entorno (Araújo y Davids, 2016). Los sistemas se analizan en términos de cómo cambian sus estados a lo largo del tiempo, y los sistemas complejos tienden a cambiar sus estados de manera **dinámica**, mostrando, a menudo, comportamientos impredecibles a largo plazo. Los sistemas complejos son típicamente **no-lineales**, cambian a diferentes ritmos según sus estados o el entorno. Como EFD que busca una evolución (cambio de estado) a través de una enseñanza solemos caer en la quimera de pensar que esos cambios son lineales. Es decir: directamente proporcionales al tiempo que hemos diseñado para la tarea, o que el estado inicial es similar en todo el grupo de aprendices, o que la complejidad de una tarea

---

<sup>1</sup> La Enciclopedia de la Complejidad y la Ciencia de los Sistemas (Meyers, 2009), Complejidad y Deporte (Balagué y Torrents, 2011), la plataforma de aprendizaje SUMA (Synthetic Understanding via Movement Analogies) en <https://suma.edu.mk/sample-page/>; el proyecto #complexityexplained <https://complexityexplained.github.io/>; el póster The Visual Representation of Complexity (Boehnert et al., 2018), reportarán una idea más precisa y exhaustiva.



afecta igual a todo el alumnado. Pero no es así. Pueden tener estados estables en los que permanecer, aunque intentemos perturbarlo con nuestras intenciones pedagógicas. Y a la vez, estados inestables en los cuales una pequeñísima perturbación puede alterar el sistema. Y eso obliga a EFD a conocer muy bien las diferencias individuales de su alumnado, y que explicarán en parte tantas respuestas inesperadas como se encuentran a diario en sus jugadores/as. En algunos casos, pequeños cambios en el entorno pueden cambiar completamente el comportamiento del sistema. Esa característica abre un enorme universo de posibilidades para que EFD exploren de qué forma pueden manipular contextos con el fin de provocar cambios de estados en su alumnado. Esos cambios de comportamiento del sistema se conocen como bifurcaciones, transiciones de fase o puntos críticos (De Domenico et al., 2019). En el mismo contexto, un sistema puede permanecer durante mucho tiempo en un estado, cambiar a otro durante un tiempo determinado, y volver al estado inicial. Si observamos ese sistema durante poco tiempo, podemos concluir erróneamente que ese mismo estado es el único estable (Hristovski, 2015). La **metaestabilidad**, estrechamente relacionada con las escalas temporales de cambio de sistema, nos revela -por ejemplo- la estabilidad temporal de los diferentes comportamientos del sistema en escalas temporales cortas, pero su inestabilidad a largo plazo en el comportamiento táctico de jugadores de fútbol (Ric, 2017). La metaestabilidad es una propiedad que nos puede ayudar a tener una visión más real de las dinámicas de comportamiento de los sistemas complejos.

Los sistemas dinámicos, en función de las interacciones entre sus componentes internos y la sensibilidad a las condiciones externas, buscan unos comportamientos preferidos (Balagué y Torrents, 2011). Esos comportamientos preferidos (atractores) son estados conductuales (o estructurales) hacia los que, en algún contexto específico, el sistema converge a partir de un gran conjunto de estados iniciales (Hristovski, 2015), de la misma forma que las aguas de los ríos son atraídas hacia los mares y océanos. Observamos en contexto deportivo un jugador que repite, una y otra vez, un patrón coordinativo de golpeo ante una pelota alta en pádel, independientemente de que dé un rebote muy alto y le generen un contrataque evidenciando que no supone una solución funcional. Ante esa propiedad, las y los EFD deben reflexionar sobre si proponer determinados entrenamientos por repetición van a consolidar o perturbar ese patrón, favoreciendo o no el surgimiento de nuevos patrones que permitan al jugador

ser más funcional y adaptativo a las situaciones cambiantes que le propone el juego. Debemos distinguir, no obstante, entre la idea (flexible) de estabilizar un atractor (o generar un nuevo atractor), cuestión que pretendemos puesto que los sistemas complejos **aprenden y evolucionan**, y robotizar (automatizar) un movimiento.

Observamos, a menudo, una tendencia en separar las partes del todo, estudiarlas por separado, y pensar que de la suma de esas partes obtenemos una comprensión del todo. Quizá pueda servir esa estrategia para los sistemas simples, pero no para los sistemas complejos. Y la causa de esta afirmación es el concepto de **emergencia**. La interacción entre los componentes de un sistema genera una nueva información, estructuras o comportamientos (Boehnert et al., 2018). De ahí la necesidad de romper con esa dinámica de descomposición. Como cuenta el aforismo: el todo es más que la suma de las partes.

Una propiedad esencial de los SCA es la formación espontánea de acoplamientos estructurales y funcionales (sinergias) entre los componentes del sistema orientados a la consecución de los objetivos de la tarea (Riley et al., 2011). **Sinergias** que, como nos evidencia la literatura científica, se producen a muy diferentes niveles (desde el celular y fisiológico, hasta un nivel social como por ejemplo entre diadas en equipos). En la interacción ejecutante-entorno, y ante el constreñimiento (i.e.) de los oponentes, esos componentes tienden a operar como una única unidad organizándose para encontrar soluciones funcionales a los problemas que nos plantea el entorno. Tal y como hemos podido constatar en los estudios IV y V, que se explicarán posteriormente, en referencia a las sinergias de las parejas de dobles en bádminton, los jugadores se acoplan de forma dinámica a lo largo del partido sin necesidad de un programa interno o externo. Ante los constreñimientos que se imponen al sistema, los componentes acoplados cambian juntos, en lugar de hacerlo de forma independiente. Gracias además a las relaciones causales circulares, constatamos como los componentes forman sinergias, pero que a su vez, esas sinergias gobiernan el comportamiento de los componentes (Haken, 1977).

La propiedad de la **interdependencia, el anidamiento temporal y la causalidad circular** de los constreñimientos y del comportamiento que actúan en diferentes escalas temporales constituye otro de los grandes principios ignorados por EFD en las metodologías deportivas (Pol et al., 2020). Estas propiedades, que interactúan de

abajo hacia arriba y de arriba hacia abajo, desde lo social hasta lo bioquímico y más allá, empujan a EFD una vez más a cuestionarse los compartimentos estancos del entrenamiento deportivo (técnica, táctica, condicional, psicológico) y plantearse fomentar el desarrollo integrado de las capacidades. No es de extrañar, en base a esta propiedad, cuánto pueden llegar a condicionar un comportamiento viejos miedos, expectativas o valores de los participantes en una situación de competición. Teniendo en cuenta esta causalidad circular, las y los EFD no pueden ignorar el grado de motivación o las intenciones a la hora de manipular constreñimientos en el diseño de una intervención. La misma tarea, cuando la realizamos para satisfacer a un profesor o cuando el motor es la motivación intrínseca, va a tener implicaciones drásticamente diferentes en atletas, equipos, y aprendizajes (Renshaw et al., 2019).

Cooperación y competición, los dos grandes pilares de la evolución biológica que rigen el comportamiento de los sistemas vivos, son principios básicos en el deporte (Hristovski y Balagué, 2020). Especialmente en los deportes de implemento que abordamos en los estudios de esta tesis, los equipos y jugadores/as compiten oponiéndose continuamente en un entorno muy inestable y poco cooperativo. Y en estos contextos, la supervivencia (entendida como ganar el partido, el campeonato, etc.) la consiguen aquellos que evidencian un mayor **potencial de diversidad/impredecibilidad**. Para mantener la aptitud y sobrevivir en entornos competitivos, jugadoras y equipos deben ser suficientemente predecibles entre sus compañeros de equipo como para que les permita mantener comportamientos colectivos coherentes. Pero, a la vez, suficientemente impredecibles como para perturbar las estrategias de los oponentes. En *ese juego del gato y el ratón*, el objetivo de un proceso de sinergia no va a ser el de maximizar las dimensiones del rendimiento, sino el de desarrollar un potencial de diversidad funcional acorde a las exigencias de la tarea. Eso significa aprender a detectar el umbral suficiente para promover la victoria. Detectar el nivel hasta el que hay que desencadenar el potencial de diversidad/imprevisibilidad, en función del adversario, es de suma importancia para el rendimiento de las y los deportistas y de los equipos (Pol et al., 2020).

Estoy convencido de que la comprensión de los principios de los sistemas complejos adaptativos no es baladí. Constituye el camino esencial para que EFD puedan mejorar la eficacia y seguridad de sus intervenciones en cada contexto específico. Los problemas complejos, tal y como la realidad nos recuerda -a veces incluso de forma dramática-, no van a resolverse con soluciones simples mayoritariamente.

**Tabla 1.** Principios comúnmente ignorados (teóricos y metodológicos) por EFD en los Diseños de sus Intervenciones.

Aproximación	Tradicional	Complejidad
Concepción del jugador/a	Máquina	Sistema Complejo Adaptativo
Concepción del deporte	Entidad estática	Entidad dinámica
Aproximación científica	Teoría Control Cibernético	Teoría de los Sistemas Dinámicos
Relación entre componentes	Lineales causa-efecto	Interacciones dinámicas no-lineales
Control	Programas internos/externos	Emergencia espontánea de sinergias
Organización	Diseñada externamente	Auto-organización
Propiedades adaptativas	Homeostasis	Reorganización sinergias, degeneración, pleiotropía
Objetivo de entrenamiento	Maximizar atributos rendimiento	Satisfacer el potencial de diversidad/impredecibilidad
Periodización	Fija. Descontextualizada. Pre-programada	Sensible a la contextualización
Entrenamiento de habilidades, condicionamiento físico	Basado en la prescripción	Basado en la dependencia anidada y la circularidad de los constreñimientos
Rol de EFD	Prescribe soluciones	Co-descubre con su alumnado/cliente/participante
Evaluación	Fragmentada	Holística/Competencial/Auténtica
Feedback	Prescriptivo. Ajustarse a una técnica ideal	Exploración. Feedback aumentado. Adaptabilidad
Tareas entrenamiento	No-representativas (a través de descomposición)	Alto nivel de representatividad (a través de simplificación de la tarea) y más allá de la misma.
Plan entrenamiento a corto plazo	Basado en soluciones estereotipadas de rendimiento y plantillas de movimiento	Basado en la exploración de contextos de rendimiento representativos
Participante	Ejecuta	Co-diseñador del proceso

Nota. Adaptado, de *Training or synergizing? Contrast of theoretical principles and Training or synergizing? Contrast of methodological principles*, de Pol, et al. (2020).

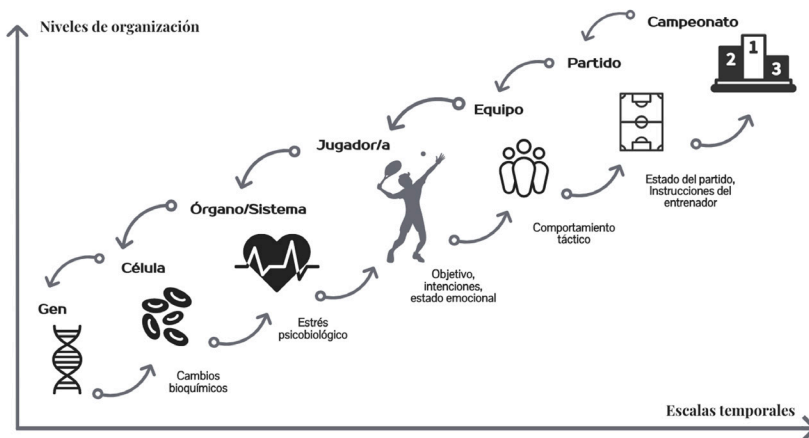
A partir del artículo pionero, clave para la aplicación de principios y conceptos de los sistemas dinámicos al movimiento humano, de Haken, Kelso y Bunz (1985), se vislumbró cómo la coordinación motriz podía explicarse a partir de las teorías de la complejidad. La motricidad ejemplificaba los principios de comportamiento de cualquier sistema complejo. Scott Kelso (1995) desarrolló desde entonces la ciencia de la coordinación, o *Coordination Dynamics*, basada en las teorías de los sistemas dinámicos (TSD) y la sinérgica, que propone entender el comportamiento motor en respuesta a constreñimientos informacionales y físicos (Kelso, 1995). Patrones coordinativos funcionales que emergen a partir de interacciones entre los componentes del sistema y el entorno a partir de procesos de autoorganización, mientras se cumplen los principios que rigen el comportamiento de cualquier sistema complejo. Desde el punto de vista del aprendiz, su tarea consiste en explorar las posibilidades que ofrece el entorno para hallar soluciones funcionales al problema. Partir de la teoría de los sistemas dinámicos para comprender la coordinación motriz nos va a ofrecer algunas ventajas. En primer lugar, nos permite usar un lenguaje común para describir diferentes niveles del sistema (jugador/a, diada, equipo, club, etc.). Por otro lado, nos ofrece herramientas para comprender cómo evoluciona el sistema en el tiempo a través de las transiciones de estado de sistema, tanto en lo que se refiere a estabilidad como a adaptabilidad (Balagué, Pol, Torrents, et al., 2019).

Paralelamente se desarrolló la psicología ecológica (Gibson, 1979) que cuestionó la tendencia de diferenciar las acciones perceptivas precediendo a las de ejecución. Como si la exploración del entorno estuviera sometida a satisfacer una intención que, posteriormente, controla el desarrollo de una determinada ejecución. Desde esta perspectiva ecológica el proceso de percepción visual es dependiente del contexto y en relación, a su vez, a las capacidades de acción del/de la jugador/a y suceden de forma simultánea (Hacques et al., 2021). Las oportunidades de acción (affordances) de cada deportista dependerán tanto del entorno inmediato como de sus propias capacidades, y la acción emergerá mientras percibe dichas oportunidades. Individuo y entorno forman parte de un mismo sistema inseparable en el que cada elemento implica el otro. Por tanto, lo que seamos capaces de captar del entorno va a constreñir nuestras acciones. Y lo que percibimos depende no solo de los recursos disponibles en el entorno (altura de la red, fricción del suelo, sonido del frenazo de un patín, posición de

un adversario), sino también de nuestra capacidad para percibirlos e interactuar con los mismos para satisfacer nuestro objetivo. Con todas las implicaciones pedagógicas que esta comprensión del comportamiento motriz conlleva y que abordaremos en el capítulo 2, las y los EFD aparecen como co-diseñadores de entornos de aprendizaje.

A partir de la *Coordination Dynamics* y de la Psicología ecológica, se desarrollan diversas propuestas aplicadas directamente al aprendizaje y entrenamiento deportivo, como son la *Constraints-led-approach* o la pedagogía no lineal. Al abordar los procesos de enseñanza-aprendizaje desde la perspectiva de la complejidad asumimos que participantes y equipos se conceptualizan como sistemas dinámicos complejos que interactúan de forma no lineal, es decir, co-adaptativa, con el entorno. Aunque lo que más nos interesa es cómo la concepción de deportistas como sistemas complejos que interactúan con su entorno transforma la comprensión de sus procesos de cambio a cualquier escala temporal o nivel de análisis como ilustra la Figura 1 (Pol et al., 2020).

**Figura 1.** Niveles de organización que interactúan a través de la causalidad circular en diferentes escalas de tiempo



Nota. Adaptado de *Levels of organization interacting through circular causality at different timescales*, de Pol, et al. (2020).

Del interés suscitado por esta perspectiva y cómo puede afectar en la intervención de EFD partieron los estudios que van a aglutinar esta tesis doctoral, y que me animaron dar mis primeros pasos bajo un paradigma complejo, ecológico, dinámico y no lineal.



# CAPÍTULO 2

La Dinámica Coordinativa y la Manipulación de  
Constreñimientos





## *La Dinámica Coordinativa y la Manipulación de Constreñimientos*

Siempre me ha fascinado la aparente facilidad que caracteriza a grandes deportistas. La capacidad que atesoran para sorprendernos con el enésimo regate, golpeo o coordinación “imposible” parece no tener fin. Esa acrobacia o contorsionismo impensable para conseguir devolver la pelota nos da cuenta de las incontables combinaciones de movimientos que permiten generar los componentes (huesos, articulaciones, músculos, etc.) de nuestro maravilloso cuerpo humano. Aquella jugadora tan creativa o talentosa que descubre una nueva coordinación, que supone una solución funcional al problema que le plantea el juego, despierta -inevitablemente- nuestra admiración. Pero esa extraordinaria capacidad puede generar a su vez un problema si -especialmente el aprendiz en la iniciación deportiva- no es capaz de coordinar y controlar un sistema que contiene tantos grados de libertad. El que llegó a conocerse como “el problema de los grados de libertad de Bernstein” (Batalla, Ruíz Pérez y Torralba, 2006; Turvey, Fitch y Tuller, 1982)

Probablemente seguimos sin dar respuesta a la cuestión fundamental de cómo pueden surgir esos movimientos coordinados en un sistema adaptativo complejo, en el que interactúan un gran número de elementos operando en múltiples niveles y escalas temporales. La visión tradicional de procesamiento de la información, en que un controlador central (como lo haría un ordenador) con un programa motor que dicta las acciones a realizar, parece insuficiente en el caso de los sistemas complejos adaptativos. La precisión en el control de movimientos que permite moverse con fluidez, estableciendo sinergias y estructuras de coordinación que se adaptan a los cambios constantes del contexto son difíciles de comprender desde la perspectiva del almacenaje de programas motores (Latash, Scholz y Schöner, 2002).

J.J. Gibson (1979) cuestionaba la eficiencia y eficacia de esos modelos en comparación con la riqueza de información específica de la tarea que tenemos a disposición en un contexto real. Las acciones dirigidas a un objetivo no estarían controladas exclusivamente por el cerebro, sino por la información del contexto.

Una propuesta alternativa a la solución del problema de los grados de libertad la constituyen las teorías físicas de la formación de patrones en sistemas dinámicos en desequilibrio (Kugler, Kelso

y Turvey, 1982). Estas nos explican cómo la aparición de estructuras y patrones emergen de forma espontánea bajo determinadas perturbaciones que van a desestabilizar al sistema provocando transiciones de estado. Ante tal desestabilización, un sistema complejo adaptativo compuesto por incontables elementos individuales tiene la capacidad de auto-organizarse de una nueva manera o diferente para adaptarse a las exigencias de un entorno cambiante, en tanto que sistemas abiertos al intercambio de materia, energía e información. Esta capacidad explica la aparición, establecimiento y cambio de nuevos patrones coordinativos, y da un papel crucial a los cambios que surgen entre estados estables e inestables. Ante la insistencia y la presión de la enseñanza de un gesto técnico ideal por repetición, la variabilidad a menudo se presentaba como un ruido que debíamos ignorar, amortiguar o tratar de anular (Gray, 2021). La perspectiva de la Dinámica de la Coordinación nos revela cuan equivocados estábamos, demostrando que la variabilidad es omnipresente y esencial para la coordinación biológica y para posibilitar una transición entre dos patrones motrices. Esta concepción se muestra sensible, además, al reconocimiento de las capacidades preexistentes y de la variabilidad individual, elemento esencial para el estudio del aprendizaje motor, en tanto que una misma tarea puede tener efectos funcionales totalmente distintos en el proceso de aprendizaje en función de las predisposiciones individuales de cada deportista (la denominada dinámica intrínseca).

La belleza y dificultad de las prácticas deportivas que incorpora uno o más implementos, a la vez que compañeros y adversarios, me parece un escenario privilegiado en el que presenciar la aparición de inesperadas y delicadas configuraciones funcionales. Desde esta mirada con la que proponemos aproximarnos al fenómeno de la adquisición de habilidades, una de las formas de abordar el problema de Bernstein podría ser a través de la manipulación de los constreñimientos. La coordinación no emerge -exclusivamente- desde la prescripción de la acción, sino a consecuencia de la presión que imponen los constreñimientos sobre la acción (Newell, 1986). De alguna forma los constreñimientos van a suponer una serie de restricciones a ese amplio espacio de posibilidades de combinaciones de elementos, al que hacíamos referencia, condicionando la elección de soluciones con las que responder de forma funcional a los problemas del juego. Límites informativos que van a condicionar, guiar o estimular la reorganización de los sistemas adaptativos complejos (Renshaw y Chow, 2018) con lo que, por lo tanto, van a influir en el entorno a la vez que verse influidos por él.

El término constreñimiento puede transmitir una idea negativa en tanto que limitación o restricción suelen tener una acepción en ese sentido. Pero sin esas limitaciones, ante los extraordinarios grados de libertad de que disponemos, quizá sería muy complicado resolver el problema de conseguir esa coordinación estructural precisa, fluida y orientada a la solución de la tarea (Gray, 2021). La temperatura que influye en el bote de la pelota, la fricción de la moqueta según el tipo de nylon o la cantidad de arena, la orientación del sol o la dirección del viento constriñen la coordinación de un determinado golpeo del jugador/a de pádel. El sol se va a ir moviendo durante el partido, las ráfagas de viento van a parar o incrementarse mientras la arena se va acumulando por los desplazamientos de los jugadores. Todo ello va a condicionar la coordinación dinámica del jugador en la búsqueda de soluciones funcionales. Cambios que van a afectar, pero que podemos considerar relativamente lentos comparados con la velocidad de los juegos deportivos en que se suceden acciones en fracciones de segundos.

Los constreñimientos de la tarea, en cambio, sí que van a ser altamente dependientes de la tarea específica que estamos desarrollando. Siguiendo con el ejemplo anterior, si al lado de la pista de pádel hubiera unas chicas jugando a fútbol y otras tirando al arco, el sol y el viento también les iba a condicionar. Si en la pista de pádel se decide que hay un subespacio prohibido para uno de los jugadores, tan solo va a condicionar el comportamiento de los jugadores de pádel. No a las de fútbol ni a las de tiro al arco. Van a ser altamente dependientes del tiempo, puesto que las condiciones de juego se van modificando, a menudo incluso, en fracciones de segundo. El número y la densidad de compañeros y adversarios, el peso y tamaño de la pelota/implemento o los cambios reglamentarios van a afectar a la coordinación dinámica motora en la generación de soluciones funcionales. La perspectiva dinámica ecológica clasifica los constreñimientos de la tarea en instruccionales (reglas y consignas) e informacionales, relativos a toda la riqueza informacional (auditiva, visual, háptica) que el jugador puede percibir en la interacción con el contexto. Este elemento va a ser clave para comprender el concepto de *affordance*. Cuando la información especifica relaciones relevantes entre el individuo y el entorno, estos perciben oportunidades de acción, es decir *affordances* (Gibson, 1979). Esos elementos informacionales proporcionan al jugador o a la jugadora en interacción con el entorno oportunidades para actuar adaptándose al entorno (Araújo, Davids y Hristovski, 2006).

Por último, debemos considerar los constreñimientos individuales de la persona. Las características personales como la altura, el porcentaje de la masa muscular o la flexibilidad permiten a unos jugadores manejar los grados de libertad de una forma que para otros es imposible. Constreñimientos que van a cambiar con relativa lentitud por el desarrollo motor o por los efectos del entrenamiento en el tiempo, por ejemplo. En cambio, constreñimientos como la atención, la fatiga o la motivación, suelen cambiar a lo largo del transcurso del partido. Y todas estas cuestiones también son susceptibles de añadirse a la compleja ecuación de elementos que constriñen el comportamiento motor.

Como no puede ser de otra forma, estos constreñimientos van a perturbar el organismo de forma interactiva. Mover con agilidad el peso de la pala dependerá de mi condición física y de cómo vaya evolucionando mi fatiga, etc. De modo que participan de la creación de un sistema altamente impredecible. Todos los tipos de constreñimientos son interdependientes y se correlacionan a través de la causalidad circular, organizándose de forma anidada en diferentes escalas de tiempo, desde la fatiga o las emociones en una escala corta; hasta el estilo de juego o la filosofía de club, dos ejemplos de constreñimientos que actúan en una escala mucho más larga (Balagué, Pol, Torrents, et al., 2019).

Parece obvio pensar que los constreñimientos de la tarea (como el escalado de espacios y material que se presentarán posteriormente en los estudios I y III) solo cobran el sentido de limitación cuando interactúan con las niñas y niños que quieren alcanzar una portería contraria en un juego. Sin ese organismo que busca un objetivo, la pelota más liviana, por sí sola, no puede llamarse constreñimiento de la tarea. Este aspecto que puede parecer de perogrullo no lo es tal, en tanto que nos aproximamos a una perspectiva de EFD que diseñan escenarios de aprendizajes a través de la manipulación de constreñimientos generando relaciones específicas entre ejecutante y entorno, tal y como propone el Constraints-Led approach (CLA). Desde la perspectiva de la dinámica ecológica, el CLA debería describirse como un enfoque centrado en la interacción deportista-entorno, y no solo como un enfoque centrado en el deportista. Se propone así que EFD consideren siempre al alumnado en el contexto en el cual están interactuando (Araújo et al., 2014).

Partiendo de la base de que los deportes son entidades dinámicas y que, por lo tanto, el comportamiento es producto del sistema jugador/a-entorno, lo que lo hace irreproducible y altamente impredecible en entornos competitivos, imagino el rol de EFD alineado a esa realidad. Se cuestiona así un papel que fija los resultados y prescribe las acciones a realizar por el/la jugador/a. Por no hablar de que esas prescripciones promueven una relación entrenador/a-jugador/a basada en la dependencia del poder, un acoplamiento basado en la acción y una participación limitada del deportista (Pol et al., 2020). En lugar de prescribir, las y los EFD cuentan en sus manos con el potencial de manipular los constreñimientos para promover la creatividad (relacionado con el concepto del potencial diversidad/impredecibilidad) y la autonomía de las y los participantes. Deportista, equipo y EFD constituyen un sistema de aprendizaje (Orth et al., 2019). ¡Cuánto hemos aprendido de nuestras alumnas y alumnos los maestros en escenarios de enseñanza-aprendizajes! Los entrenadores constriñen a los ejecutantes, y estos constriñen a los entrenadores, que al ser desafiados también aumentan su potencial de diversidad (Hristovski, 2010).

Mientras el entrenamiento se centre en la satisfacción del potencial de diversidad/impredecibilidad, este espacio de interacción debería basarse en un proceso de co-adaptación. Las y los EFD se co-adaptan ajustando constreñimientos continuamente a la evolución del jugador/a y equipo: la selección y el diseño de los problemas que hay que resolver o la provisión de tareas adaptadas, variadas, innovadoras y suficientemente desafiantes. Ese es el verdadero reto de EFD. Uno más. Conseguir un clima de trabajo suficiente como para que jugadoras y jugadores acepten el reto de ser co-diseñadores del proceso de entrenamiento en lugar de meros ejecutantes pasivos.

Rob Gray (2021) considera cuatro características claves que deberían atesorar la manipulación de uno o más constreñimientos en la aplicación práctica por parte de EFD para conseguir contextos de práctica más eficaces:

a) El constreñimiento debería perturbar suficientemente al sistema como para provocar la desestabilización de una coordinación de movimientos que no supone una solución funcional de un problema motor. Ya sea porque no se muestra suficientemente eficaz en la dinámica del juego, o porque pueda -por ejemplo- resultar lesiva para el jugador. No es extraño encontrar, en la enseñanza del pádel, un jugador de tenis al

que le cuesta cambiar la coordinación que provoca un efecto “liftado” en la pelota, a pesar de que este efecto pueda provocar un rebote en el cristal con demasiada altura, favoreciendo el contrataque del contrario. Ese atractor, es decir, ese estado muy estabilizado en el sistema al que tiene tendencia a recurrir el jugador independientemente de lo que demanda la situación de juego, no es tan útil en un deporte de red y muro como puede serlo en el tenis. A través de constreñimientos de la tarea, como poner una pequeña portería enfrentada al cristal de fondo sobre la que poder introducir la pelota, podríamos estimular al jugador a explorar diferentes coordinaciones que consigan que la pelota no dé tanto rebote. Probablemente utilizando efectos planos o cortados.

b) Estimular exploración y emergencia de nuevas coordinaciones motoras que supongan soluciones funcionales. No se trata de que la herramienta del efecto “liftado” no pueda servir nunca y la del efecto cortado sea la buena. Perseguimos que el jugador amplíe su bagaje motor para que disponga de un mayor número de herramientas. Que incorpore nuevas coordinaciones que puedan responder de forma variada y adaptativa a los requerimientos de las características de una modalidad deportiva. En el caso del ejemplo que comentábamos, constreñida por la existencia de red, muro, compañero y adversarios, no pretendemos constreñir para dar una nueva solución. Buscamos que el constreñimiento de la tarea estimule la posibilidad de descubrir nuevas oportunidades de acción en coherencia con lo que va a demandar continuamente y de forma cambiante el juego. El reto de EFD va a estar en no centrarse en acumular un amplio espectro de constreñimientos de la tarea a utilizar, sino en atesorar la sensibilidad para comprender la importancia práctica de las propiedades de interdependencia, anidamiento temporal y causalidad circular de los constreñimientos (Pol et al., 2020).

c) Ampliar la información y favorecer que emerjan nuevas affordances. El sonido de la pala en el golpeo nos da información. El punto de impacto de la pelota respecto a la línea de fondo nos da información. La trayectoria de la pelota (en función del efecto) tras impactar con los cristales nos da información. El universo informacional en la acción contextualizada es tan y tan abundante que es una pena que lleguemos a anestesiar los sentidos de los jugadores centrándolos excesivamente en la

prescripción y consignas que les lanzamos o en la colocación del cuerpo ajeno a las respuestas que produce. De ahí que tratar de mejorar el espectro informacional del jugador y relacionarlo con las oportunidades de acción que emergen de ellas va a ser un elemento clave a considerar en nuestras propuestas de CLA.

d) Proveer feedback de transición acerca del progreso que conduce hacia nuevas coordinaciones motoras que solventan los problemas del juego, dando pistas de si la exploración que se está desarrollando va o no en buena dirección. Centrándonos más en el foco externo, en el efecto de nuestras acciones, en los “porqués y paraqués” que en la biomecánica del gesto ideal al que suele referirse el foco interno. En el ejemplo que proponíamos, ver hacia donde va la bola, si sigue pasando por encima de la portería, va dando información acerca de cómo va la exploración y auto-organización del jugador. El lugar en el que coloquemos (y vayamos variando la colocación de la portería) va a ir dando información de si la exploración va en la línea de conseguir que la pelota dé menos rebote, mantener en el fondo de la pista al adversario y ganar tiempo para recuperar la posición en la red. Meter gol en la portería no es realmente el objetivo principal de la tarea, sino limitar las posibilidades de golpear (rebote alto) para ampliar el repertorio del jugador consiguiendo ser más diverso en velocidades o efectos, por ejemplo, alineado a las demandas del juego..

Hallamos numerosas referencias en la literatura científica que nos muestran que el CLA está siendo aplicado en la adquisición de habilidades, el desarrollo motor, el rendimiento motor, la medicina, la terapia y rehabilitación, la condición física, biomecánica, creatividad o readaptación de lesiones deportivas (Pol et al., 2020). Aunque lo que más nos interesa de la concepción del juego y de las personas implicadas como sistemas complejos adaptativos es el enfoque integrador del rendimiento deportivo al que nos aproxima. De ahí que sea necesario enfatizar en las dos características principales de los constreñimientos: actúan anidados en diferentes escalas temporales, y son circularmente interdependientes (de abajo a arriba y de arriba abajo) (Balagué, Pol, Torrents, et al., 2019).

El hecho de usar la modificación del espacio y portería como constreñimientos de la tarea, modificando el juego tal y como se

propone en los estudios de hockey que se presentan en esta tesis, no presupone que estemos utilizando este enfoque integrador. La intención de fomentar la exploración en entornos representativos, desestabilizar la solución no funcional, el uso del feedback de transición en lugar de la prescripción o enfatizar en los aspectos informacionales van a ser aspectos clave desde una perspectiva ecológica de manipulación de constreñimientos. Y añadiría, particularmente, un reto divertido y estimulante para EFD dispuestos a explorar la infinidad de posibilidades que se nos abren para el diseño de escenarios de aprendizajes.

Podemos hallar, por ejemplo, abundante literatura refiriéndose a los Small-Sided Games (SSG) como diseños estrechamente relacionados con la manipulación de constreñimientos de la tarea (Clemente et al., 2021; Davids, Araújo, et al., 2013). Han sido especialmente bien recibidos en los deportes de equipo al mantener las estructuras de juego, y con ello proponer escenarios informacionalmente ricos, a la vez que se desarrolla la mejora de aspectos técnico-tácticos específicos y variaciones en los estímulos físicos y fisiológicos. Algunos de los constreñimientos más utilizados hacen referencia al número de jugadores implicados, la configuración del terreno de juego, el sistema de puntuación, acciones permitidas, instrucciones específicas de carácter estratégico o el régimen de entrenamiento (Gonçalves et al., 2017). La variación de geometría, balance y escalado de peso o tamaño de pelotas e implementos ha sido otro de los constreñimientos más utilizados por las y los entrenadores. Cobra un significado especialmente importante en el ámbito de la iniciación deportiva en edades tempranas. Al adaptar el tamaño del espacio y del equipamiento a la etapa de desarrollo del aprendiz, las habilidades se realizan con más éxito y con patrones de movimiento más fluidos, con capacidad para explorar y movilizar mayor número de grados de libertad para producir movimientos funcionales (Buszard et al., 2020).

La revisión sistemática en que analizan los SSG como recurso metodológico para la enseñanza de los deportes de equipo concluye que la evidencia científica justifica su uso en edades tempranas (Fernández-Espínola et al., 2020). Entre las principales razones destaca que la reducción en el número de jugadores y el tamaño del área de juego incrementan considerablemente las oportunidades de acción, así como desarrollar los principios del juego. La realidad cotidiana en la iniciación del pádel y el hockey patines que el doctorando ha tenido oportunidad de experimentar en nuestro territorio estos años



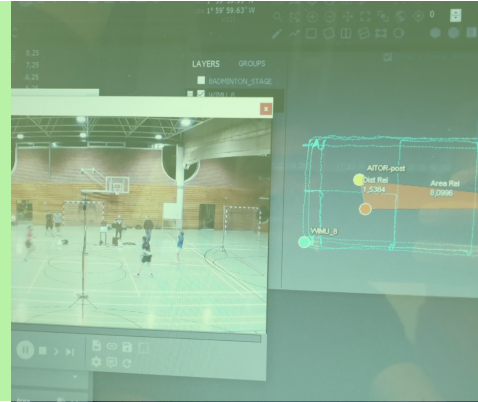
contrasta, en cambio, con lo que nos aconseja la literatura científica. De ahí nuestro interés y esperanza en que los estudios I, II, IIIa y IIIb puedan constituir un estímulo para la revisión de prácticas de EFD implicados en estos procesos de transformación, puedan constituir un estímulo para la revisión de prácticas de EFD implicados en estos procesos de transformación.





# CAPÍTULO 3

Comprender la Interacción Social y la Emergencia de Sinergias



## *Comprender la Interacción Social y la Emergencia de Sinergias*

Hasta ahora hemos focalizado nuestra atención en la emergencia de patrones de coordinación intrapersonal en la búsqueda, del sistema jugador-entorno, de soluciones funcionales adaptadas a los cambios dinámicos que propone el entorno. En los estudios que conforman esta tesis, el comportamiento se ve constreñido por el uso del implemento, entre otros constreñimientos que definen los reglamentos de los deportes y otros que se han manipulado intencionalmente.

En los contextos en que hemos centrado los estudios, la coordinación interpersonal está intencionalmente constreñida, ya sea para cooperar o bien para oponerse. En el caso del hockey patines, el pádel o la modalidad en dobles y dobles mixtos de bádminton la coordinación entre los jugadores para mejorar el rendimiento deportivo del equipo o de la diada va a ser, sencillamente, esencial. La recíproca y mutua influencia que emerge entre los participantes en el contexto de juego crea una dependencia de comportamientos imposibles de predecir con absoluta certeza y menos todavía de generalizar para futuras interacciones (Passos, Davids, y Chow, 2016). Comportamientos característicos de un sistema complejo adaptativo como ya hemos abordado anteriormente.

La coordinación emerge cuando los componentes de un sistema se sincronizan o ajustan para formar una unidad coherente (Fajen et al., 2008). Cuando se analiza el comportamiento individual, a menudo nos referimos a la eficiencia de las sinergias musculares de las cadenas cinéticas en los golpes de pádel, bádminton o hockey patines. Al enfocarnos en el comportamiento colectivo, los componentes del sistema lo forman las y los jugadores (compañeros y adversarios). Así pues, nos vamos a referir a la coordinación interpersonal cuando el comportamiento de dos (o más individuos) está alineado con un objetivo común (Schmidt, Fitzpatrick, Caron y Mergeche et al., 2011). La información disponible en el contexto va a ser un elemento clave que sustenta el acoplamiento de la coordinación interpersonal, favoreciendo niveles de rendimiento colectivo que superan los que podrían conseguir individualmente cada uno de los participantes (Fajen et al., 2008). Pero es que, además, van a ser los movimientos continuos de los propios jugadores y jugadoras los que van a generar información que va a condicionar las acciones a encadenar. Un proceso cíclico que reconocemos como acoplamiento percepción-acción (Gibson, 1979). Como los acoplamientos entre

jugadoras y jugadores se apoyan en la información que generan sus propias acciones motrices, se considera que la comprensión del fenómeno del comportamiento interactivo debe tratarse desde la auto-organización de un sistema dinámico en que el comportamiento no está guiado por ningún controlador externo o interno, sino por la propia interacción. A menudo, las y los EFD pueden pensar que ejercen ese rol de controladores externo (especialmente en situación de entrenamiento) y que sus instrucciones constituyen la fuente informacional determinante para generar las correctas coordinaciones interpersonales, aunque investigaciones previas indiquen lo contrario (Passos et al., 2016). El contexto es extremadamente rico en información perceptiva y como EFD deberíamos ser capaces de estimular a las y los jugadores a explorarlo activamente.

Los jugadores que se asocian fácilmente o las parejas que cierran todos los ángulos son ejemplos de coordinación interpersonal que consigue que dos elementos distintos se comporten como una única entidad para conseguir una solución funcional a una situación contextual. La unión entre varios componentes para realizar una función la conocemos como sinergia, y se erige como un aspecto esencial del éxito en los deportes de equipo. No debemos confundir cualquier coordinación interpersonal que puede reflejar, simplemente, una coincidencia de acciones de dos individuos que coordinan sus movimientos independientemente, con la que consigue formar una entidad colectiva que mejora el rendimiento por encima de lo que harían de forma individual (Romero et al., 2015). Para que las podamos considerar sinergia deben cumplir dos requisitos: la compresión de la dimensión y la compensación recíproca (Riley et al., 2011). Compresión de la dimensión se refiere a los procesos de acoplamiento físico y perceptivos de los componentes relevantes del sistema (en este caso los jugadores) reduciendo la dimensionalidad global del sistema de movimiento. El comportamiento del sistema resultante tiene menos grados de libertad y se comporta así por un proceso de auto-organización entre los componentes. Compensación recíproca hace referencia a la habilidad de un componente de la sinergia para reaccionar a los cambios de otro con el propósito de satisfacer el objetivo común. Esto es una característica fundamental de las diadas de bádminton de cierto nivel. Esta característica permite comportamientos adaptativos para afrontar cambios contextuales inesperados, como es el caso de nuestro objeto de estudio, el bádminton en modalidad dobles. La compensación es

una acción instantánea realizada por los elementos del sistema en respuesta a una perturbación (interna o externa). Su objetivo final es el de mantener la estabilidad relativa frente a las perturbaciones en un comportamiento dirigido a un objetivo: constituir una solución funcional a los problemas que, de forma continua y cambiante, propone el juego.

Por definición, las sinergias son asociaciones funcionales de componentes, sensibles al contexto, que se agrupan temporalmente para actuar como una unidad coherente (Kelso, 2009). Es el concepto que en la literatura se conoce como *soft-assembly* (Eiler et al., 2013), es decir, un acoplamiento que es capaz de adaptarse al entorno cambiante. En bádminton dobles, levantar un volante cuando se está en disposición de ataque va a constituir un elemento visual informacional que va a provocar que la pareja modifique su posición situándose en paralelo para tratar de actuar como una unidad funcional que pueda cubrir mejor los espacios. Pero tan solo va a durar mientras sea efectiva, y es posible que, tras un bloqueo corto, se coordinen de nuevo en una disposición de jugador de ataque (un miembro de la pareja se sitúa cubriendo la red, mientras que el otro se sitúa detrás de él responsabilizándose de la parte más alejada de esta) para formar otra sinergia que pueda ser más funcional o satisfacer a otros objetivos del juego.

Lógicamente, desde el entrenamiento se debería pretender desarrollar esos comportamientos colectivos entre jugadoras y jugadores del mismo equipo, en lugar de que respondan tan solo a respuestas cerradas estratégicamente preparadas por el personal técnico. La preparación de deportistas con razonamientos del tipo “siempre que pasa x... haremos y...” suele basarse en concepciones reduccionistas y en metodologías descontextualizadas. Tratar de estudiar el fenómeno de la emergencia de sinergias en las diadas del bádminton dobles desde la mirada de la complejidad puede ser clave para plantearse la ineficacia de ese tipo de estrategias de entrenamiento, tanto en la iniciación como en fases de perfeccionamiento.







# CAPÍTULO 4

Objetivos y Estructura de la Tesis



## *Objetivos y Estructura de la Tesis*

El objetivo general de esta tesis es estudiar cómo la concepción de jugadoras, jugadores y equipos de deportes de implemento como sistemas complejos adaptativos transforma la intervención de EFD. De este objetivo general se derivan dos objetivos principales. En primer lugar, se pretende analizar las consecuencias de la modificación de constreñimientos de la tarea en la iniciación de hockey y pádel. En segundo lugar, se pretende identificar la existencia de sinergias funcionales entre las parejas de bádminton mientras juegan. La hipótesis de partida fue que la modificación del espacio de juego y la reducción del número de jugadoras/es favorecería la práctica de una mayor cantidad de acciones motrices específicas y una mayor variedad de comportamientos técnico-tácticos, mientras que no se reduciría la carga física. En cuanto a la identificación de sinergias, la hipótesis de partida fue que se detectarían sinergias funcionales en la mayor parte de las situaciones de juego entre las parejas de bádminton.

Con el fin de responder a los objetivos, presentamos el trabajo realizado a partir de 5 estudios originales, 3 de ellos publicados, y 2 en segunda revisión en revistas indexadas en la *ISI web of knowledge*, y uno publicado en una revista indexada en la *Web of Science de Thomson Reuters y Scopus*, con sus respectivos objetivos específicos. La presentación de los artículos se plantea en capítulos individuales respetando el formato de publicación o presentación solicitado por las revistas respectivas.

La pretensión en la introducción era doble. Por un lado, la de mostrar la transformación que puede suponer para EFD la revisión de las creencias alrededor de los procesos de enseñanza-aprendizaje y que, ineludiblemente, van a caracterizar nuestras intervenciones. Por otro, la de exponer sucintamente el marco teórico de las ciencias de la complejidad para comprender los procesos de cambio y adaptación de deportistas y la manipulación de constreñimientos como una metodología susceptible de ser utilizada en el aprendizaje o entrenamiento de las coordinaciones (sinergias) intrapersonales e interpersonales en deportes de implemento.

En la parte II, destinada a mostrar los estudios experimentales llevados a cabo, se pretende responder a preguntas específicas de tres deportes distintos de implemento: el pádel, el hockey y el bádminton.

A continuación, se describen los **objetivos específicos** de cada estudio:

**Estudio I:** Analizar el efecto de escalar el espacio de juego, pelota e implemento en el comportamiento motor de niñas y niños jugadores de pádel.

**Estudio II:** Comparar los requerimientos fisiológicos, cinemáticos y neuromusculares específicos del pádel en participantes de diferentes edades entre un juego reducido común en el pádel, el juego *ivs.1* cruzado, y el juego reglamentario.

Estos estudios se presentan en el primer artículo de la tesis: Lacasa, E., Salas, C., y Torrents, C. (2021). Pádel: una mirada compleja, dinámica y no lineal en la iniciación deportiva y el entrenamiento. *Retos. Nuevas tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, 41, 354-361.

**Estudio IIIa:** Analizar los efectos de la manipulación del número de jugadoras o jugadores, así como el escalado de la pista en tres situaciones diferentes en los comportamientos técnico-tácticos de jóvenes jugadores en hockey patines.

Este estudio se presenta en el segundo artículo de esta tesis: Lacasa, E., Canton, A., Brufau, I., March-Llanes, J., y Torrents, C. (En revisión). Rink Hockey “Ok-XS”. Motor behavior effects of scaling games in U8 players. *International Journal of Sports Science & Coaching*.

**Estudio IIIb:** Analizar las consecuencias físicas y fisiológicas que emergen de la modificación de las medidas de la pista y del número de jugadoras/es en el hockey patines en categoría pre-benjamin.

Este estudio se presenta en el tercer artículo de esta tesis: Canton, A., Lacasa, E., Brufau, I., Ensenyat, A., y Torrents, C. (2020). Hockey Patines “XS”: ¿Afecta Sobre la Carga en la Iniciación? *Revista de Psicología del Deporte*, 29(2), 124-132.

**Estudio IV:** Detectar sinergias interpersonales para diferentes patrones de comportamiento en función de las distancias interpersonales entre jugadores de bádminton.

Este estudio se presenta en el cuarto artículo de esta tesis: Passos, P., Lacasa, E., Milho, J., y Torrents, C. (2020). Capturing Interpersonal Synergies in Social Settings: An Example within a Badminton Cooperative Task. *Nonlinear dynamics, psychology, and life sciences*, 24(1), 59-78.

**Estudio V:** Identificar las sinergias que se crearon entre parejas de jugadoras y jugadores expertos de bádminton.

Este estudio se presenta en el quinto artículo de esta tesis: Passos, P., Lacasa, E., Milho, J., Diniz, A., y Torrents, C. “How to Take a ‘Portrait’ of Interpersonal Synergies Formation? – Exemplar data with Expert Badminton Doubles” (En revisión) *Ecological Psychology*.

En la parte III se aborda la discusión de los resultados obtenidos en los cinco estudios con el objetivo de contribuir al debate tanto teórico como metodológico. Continúa un capítulo mostrando las posibles aplicaciones prácticas del enfoque, así como las limitaciones y futuras líneas de investigación, para finalizar con las conclusiones de la tesis.



# CAPÍTULO 5

Métodos. Participantes, Instrumentos de Recogida de Datos y Análisis





## *Métodos. Participantes, Instrumentos de Recogida de Datos y Análisis.*

El Plan estratégico general y de investigación de la Universitat de Lleida define los estudios de doctorado entre sus ejes principales de actuación. La misión de la investigación en la UdL pasa por la generación, diseminación y aplicación del conocimiento. Persigue la mejora de la calidad de vida de las y los ciudadanos a través de la investigación y la formación de capital humano en el entorno que le es propio. Se caracteriza por una actividad de investigación vinculada a las especificidades del territorio, tanto en investigación básica como aplicada.

En los diseños de recogida de datos y la selección de participantes vamos a ver reflejados esos principios. Me siento extremadamente agradecido por tantas instituciones y personas, vinculadas a nuestro territorio, que han sumado esfuerzos para hacer realidad estos estudios, compartiendo valores, visión y misión.

### **5.1. Participantes.**

En los estudios I y II contamos con jugadoras y jugadores de la sección de pádel de Ekke en Lleida. En el primero, centrado en la iniciación temprana, participaron 8 jugadoras y jugadores de la escuela de menores (5 niños y 3 niñas, edad:  $7.6 \pm 0.7$ ). Para el segundo, escogimos intencionalmente tres grupos de edad muy diferentes. Participaron en el estudio 12 jugadores de pádel masculino amateur divididos en tres grupos de edad: 4 menores ( $14.25 \pm 1.50$ ), 4 adultos ( $39.50 \pm 8.50$ ) y 4 veteranos ( $63.33 \pm 4.51$ ). El doctorando pudo acceder a los participantes al formar parte del equipo de profesionales que coordinaba los diferentes servicios formativos, de rendimiento y eventos de tiempo libre que se ofertaban desde la sección.

En los estudios IIIa y IIIb participaron 21 niños y 3 niñas (edad:  $7.1 \pm 0.4$  years) de categoría pre-benjamín de hockey patines de las escuelas deportivas del Club Llista Blava y del Club Hockey Juneda

El doctorando pudo acceder a los participantes a través de Isidre Brufau, miembro del staff del Club Llista Blava y de la escuela de formación de formadores de la Federación Catalana de Patinaje. Los resultados de estos estudios ya han constituido elementos de debate y discusión en estos cursos, así como en jornadas de promoción, en los que he tenido la oportunidad de participar

Para el estudio IV contamos con ocho jugadores amateurs (edad:  $28.62 \pm 4.25$ ) de la sección de bádminton del Club INEF de un nivel similar de rendimiento. Para el estudio V contamos con 10 jugadores y 2 jugadoras integrantes del Centro de Tecnificación de la Federación Catalana de Bádminton que compiten en el Campeonato de España (edad:  $24.92 \pm 4.95$ ). El doctorando pudo acceder a los participantes al formar parte de la Junta Directiva del Club INEF en calidad de vocal de la sección de Bádminton y de la Junta Directiva de la Federación Catalana de Bádminton en calidad de delegado territorial en Lleida, respectivamente.

Las muestras se detallan más concretamente en el apartado de métodos de los diferentes estudios. Todas las personas participantes fueron informadas de los procedimientos de investigación, y una madre/ padre o representante legalmente autorizado dio su consentimiento informado previo. El protocolo del estudio se ajustó a las recomendaciones de la Declaración de Helsinki y fue aprobada por el Comité Ético de investigaciones clínicas de Administración deportiva de Catalunya (09-2018-CEICGC).

## **5.2. Diseños de recogida y preparación de los datos.**

En los estudios Ia, Ib, IIa, IIIa y IIIb se recogieron datos espaciales y físicos a partir del uso de dispositivos inerciales. Los dispositivos inerciales WIMUTM RealtTrack System (Almería, Spain) se han mostrado un instrumento válido para acceder con relativa facilidad a la recogida de datos de comportamiento espacial y de cantidad de actividad física realizada. Para alcanzar una mayor precisión y confiabilidad intra- e inter-unidades con respecto al sistema basado en GPS (Bastida, Gómez, De la Cruz y Pino, 2018) utilizamos un sistema de posicionamiento local de 10 Hz en la banda de radiofrecuencia ultra ancha (UWB). Los latidos cardíacos fueron capturados por una cinta torácica transmisora sincronizada a cada uno de los dispositivos. Todas las situaciones fueron registradas simultáneamente con una o varias cámaras de vídeo (Panasonic HC-V180 video camera Full HD). De esta forma podíamos sincronizar la imagen y los datos en el software específico SPRO (v. 914) y acceder a las series temporales en los que se desarrollaban los puntos o el tiempo del small-sided game definido en el protocolo de recogida de datos.

En los artículos concretamos en el apartado de métodos los detalles de los diferentes diseños, recogida y preparación de los datos para su posterior análisis y tratamiento.

Para el estudio IIb se construyó un instrumento de observación ad-hoc que nos permitió registrar las acciones técnico-tácticas en ataque y en defensa. Para ello utilizamos el Lince PLUS software–v.1.2.0-2020 (Soto, Camerino, Iglesias, Anguera, y Castañer, 2019). El observador fue el propio doctorando, después de ser entrenado durante 6 horas bajo la mirada experta del profesor de la escuela de formación de técnicos de la Federación Catalana de Patinaje Sr. Isidre Brufau. La fiabilidad intraobservador se calculó, en forma de concordancia, mediante el coeficiente kappa de Cohen, superando el valor de 0,80 que se considera adecuada.

La formación para el uso de los diferentes instrumentos y programas informáticos formaron parte de las propuestas de formación de la Escuela de Doctorado y el INEFC-Lleida y fueron acreditadas como actividades de formación del doctorando.

### **5.3 Análisis de los datos.**

Las diversas preguntas de investigación, entre otros factores como los muestrales, van a condicionar el tipo de análisis estadístico que se pone al servicio de tratar de responderlas.

En el estudio I, dada la muestra, se empleó la prueba Saphiro-Wilk para comprobar la distribución normal de cada una de las variables. Al existir normalidad para las variables de golpes de fondo, de pared y de red, se utilizó la prueba paramétrica t de Student de muestras relacionadas al comparar el comportamiento de las y los mismos participantes en las dos situaciones de juego normal y juego reducido. En el caso de la variable de golpes de definición, al no reportar normalidad, se realizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon. Se estableció un nivel de significación de  $p < 05$ .

En el estudio II las variables se resumieron mediante la mediana (Mdn) y el intervalo intercuartil (IQI), y se compararon ambas situaciones de juego real y juego reducido mediante dos pruebas no paramétricas: la estimación del intervalo de confianza de la mediana de la diferencia (Md 95% CI) y la prueba de aleatorización de Fisher-Pitman (p).

El análisis estadístico inferencial se aplicó, en el estudio IIIa, tras un análisis descriptivo de las acciones técnico-tácticas individuales del juego de hockey e implicó un análisis de Modelo de Poisson Mixto Generalizado para cada variable dependiente. Se eligió este análisis para contabilizar la frecuencia de ocurrencia de las acciones del juego durante un intervalo de tiempo definido, ya que los datos podían mostrar una mayor frecuencia para algunos valores (por ejemplo, el marcaje) o una rareza de otros (por ejemplo, la disuasión del pase). Las pruebas de hipótesis para cada variable dependiente, y los respectivos tamaños del efecto -Razones de Probabilidad (expB)- se obtuvieron mediante el software estadístico jamovi (v.1.6.15).

Se realizó, para el estudio IIIb, un análisis descriptivo utilizando la media y desviaciones estándar para cada variable. Las diferencias en las medias entre las situaciones de juego se expresaron en datos sin procesar con un límite de confianza del 90%. Se informó que el efecto no estaba claro si el límite de confianza (LC) se superponía a los umbrales para los cambios más pequeños y valiosos, que se calcularon a partir de las unidades estandarizadas multiplicadas por 0.2. Las magnitudes de los efectos más claros se describieron con la siguiente escala: 25-75%, posible; 75-95%, probable; 95-99%, muy probable; >99%, lo más probable. Además, las comparaciones dentro de las situaciones de juego se evaluaron mediante las diferencias de Cohen estandarizadas y el 90% de LC. Los umbrales para las estadísticas de tamaño del efecto fueron: <0,2, trivial; 0.2-0.6, pequeño; 0.6-1.2, moderado; 1.2-2.0, grande; >2, muy grande.

Para poder determinar y cuantificar la existencia de sinergias interpersonales en los intercambios de golpes durante un punto en bádminton dobles nos apoyamos, en el estudio IV, en una metodología que ya había sido utilizada previamente para detectarlas en otras disciplinas. La Uncontrolled Manifold Hypothesis (UCM) puede describirse como el espacio geométrico que contiene todas las posibles combinaciones de elementos relevantes para la tarea que representan un valor de referencia de las variables de rendimiento. En el estudio IV, las variables de rendimiento fueron la relación entre la distancia interpersonal y la velocidad de los jugadores. Esa varianza puede manifestarse en dos direcciones: a lo largo (estabilizando los valores de rendimiento para un valor de referencia) o perpendicular a la UCM (perturbando la variable de rendimiento y aumentando la vulnerabilidad del sistema a perturbaciones internas y externas). La varianza a lo largo de la UCM revela la compensación recíproca en las velocidades de los jugadores que estabilizan la distancia

interpersonal en torno a su valor de referencia, mientras que la varianza perpendicular a la UCM muestra los cambios en las velocidades de los jugadores que no contribuyen a esa estabilización. La relación UCM entre la varianza compensada y la no compensada permite realizar comparaciones y, por tanto, cuantificar las sinergias interpersonales de la siguiente manera: para valores de UCM  $>1$  se considera que se produce una sinergia, y para valores de UCM  $<1$  se considera que no hay sinergia entre los jugadores. La metodología utilizada para calcular los valores de UCM para cuantificar las sinergias interpersonales ha sido publicada previamente (Passos, Araújo y Volossovitch, 2017). Para evaluar la UCM a lo largo del tiempo, se consideraron los rallies, definidos como el tiempo que transcurre entre el momento en que se inicia el saque y el momento en que el volante toca el suelo (final del punto).

A pesar de que el estudio IV nos ayudó a identificar la relación entre los elementos de la tarea (ajuste de la velocidad) y el objetivo de rendimiento (estabilizar la distancia interpersonal) que nos permiten sugerir la formación de sinergias, tan sólo nos apoyábamos en el análisis de una variable en relación con otra. Sin embargo, las sinergias no se basan en estados de coordinación rígidos, sino que su reclutamiento y disolución forman parte de un proceso dinámico en el que diferentes elementos se ensamblan para cumplir con las demandas contextuales (Kelo et al., 1993). En sistemas con tantos grados de libertad (muy diversas posibilidades de acción) es posible que existan más de una combinación única entre elementos de la tarea y que pueda haber varias combinaciones para estabilizar el mismo objetivo de rendimiento. Por ese motivo, en el estudio V, se calcularon dos tipos de varianza de los elementos de la tarea (es decir, la varianza compensada (o "buena"), que estabiliza la variable de rendimiento; y la varianza no compensada (o "mala"), que perturba la variable de rendimiento) para cada combinación de elementos. Este procedimiento computacional requiere valores de referencia tanto para la variable de rendimiento como para los elementos de la tarea. Para ello, se utilizó como valor de referencia el valor medio de las series de datos de cada rally. Para cada combinación de elementos de la tarea, el resultado es un índice UCM calculado con las varianzas compensadas y no compensadas, que permite caracterizar la presencia o ausencia de sinergias, así como su fuerza. Cuando el índice UCM era  $> 1$ , se consideraba la presencia de una sinergia. Por el contrario, para un índice UCM  $< 1$ , se consideró que no había sinergia. Además, cuanto mayor es el valor del índice UCM, más fuerte se considera la sinergia (Black et al., 2007).







# PARTE

ARTÍCULOS QUE CONFORMAN LA TESIS

# 2

**Capítulo 6** – Pádel: una mirada compleja, dinámica y no lineal en la iniciación deportiva y el Entrenamiento

**Capítulo 7** – Rink Hockey “Ok-XS”. Motor behavior effects of scaling games in U8 players.

**Capítulo 8** – Hockey patines “XS”: ¿Afecta sobre la carga en iniciación?

**Capítulo 9** – Capturing Interpersonal Synergies in Social Settings: An Example within Badminton Cooperative Task

**Capítulo 10** – How to Take a ‘Portrait’ of Interpersonal Synergies Formation? Exemplar data with Expert Badminton Doubles”





# CAPÍTULO 6

Pádel: Una Mirada Compleja, Dinámica y no Lineal en la  
Iniciación Deportiva y el Entrenamiento



Lacasa, E., Salas, C., y Torrents, C. (2021). Pádel: una mirada compleja, dinámica y no lineal en la iniciación deportiva y el entrenamiento. *Retos. Nuevas tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, 41, 354-361.

## Pádel: una mirada compleja, dinámica y no lineal en la iniciación deportiva y el entrenamiento

### Paddle-tennis: a complex, dynamic and non-linear approach for teaching-learning processes and training

Enrique Lacasa Claver, Cristófol Salas Santandreu, Carlota Torrents Martín

Universidad de Lérida (España)

**Resumen:** En contraposición a perspectivas tradicionales, reduccionistas y excesivamente mecanicistas, consideramos a las/ los jugadoras/es de pádel como sistemas dinámicos y complejos, y a sus procesos de adquisición de habilidades como no lineales. El objetivo de este artículo es el de presentar las consecuencias de la introducción de las ciencias de la complejidad en el entrenamiento y el aprendizaje y mostrar aplicaciones concretas en el pádel. Tras una aproximación a conceptos clave como *Constraints-led Approach*, constreñimiento, auto-organización o ciclo percepción-acción, mostramos dos estudios piloto aplicables al entrenamiento del pádel donde se modifica el comportamiento a partir de la manipulación de constreñimientos de la tarea: a) Un juego reducido que escala el espacio y equipamiento para adaptarlo a jugadoras y jugadores benjamines de una escuela de pádel. Al comparar el comportamiento de las niñas y niños en juego adaptado vs. juego reglamentario, se observó que se producía un aumento de oportunidades en cuanto al número y variedad de acciones; b) El Cruzadito, un juego reducido que limita el espacio y el número de jugadores. Se comparó, en tres grupos de edad, la carga de trabajo de la situación reducida vs. juego reglamentario. Se comprobó que la intensidad fue mayor durante la práctica en el juego reducido. A partir de estos resultados, se discute sobre los beneficios de mejorar el comportamiento de los jugadores y jugadoras estimulando aspectos condicionales sin necesidad de aislar al jugador de los acoplamientos percepción-acción claves y específicos del pádel. Sugerimos que la perspectiva compleja, dinámica y no-lineal puede ser un marco idóneo para el diseño de escenarios de aprendizaje y mejora integral de deportistas.

**Palabras clave:** complejidad, dinámica ecológica, auto-organización, emergencia, aprendizaje guiado por constreñimientos.

**Summary:** In contrast to traditional, reductionist and excessively mechanistic approaches, we propose that padel players are complex dynamical systems and their skill acquisition processes are non-linear. The aim of this paper is to describe the consequences of the introduction of complex systems sciences to sport training and to show two practical proposals. Some key concepts such as Constraints-led Approach, constraint, self-organization or perception-action are explained before presenting two pilot studies to modify the behavior by means of the manipulation of task constraints: a) A small sided game that scales the space and equipment to adapt it to young players of a junior school. By comparing the behavior of the girls and boys in the adapted game vs. regular game, it is suggested that there are more opportunities for greater number and variety of actions when reducing the game. B) *Cruzadito* is a small-sided game that limits the space and the number of players and it has been applied to three age groups. By comparing the workload of the small-sided situation vs. regular game, it is suggested that physical load can even be increased. The benefits of these proposals are discussed, considering the differences with approaches based on isolating the player from the key and specific perception-action links of padel. It is suggested that the complex, dynamic and non-linear perspective can be an excellent approach for designing learning contexts and improving athlete's states.

**Key words:** Padel, complexity, ecological dynamics, self-organization, emergence, constraint-led approach.

### Introducción

«¡Umm! ¡Qué bien me quedó esta bola! Pero estamos a la altura del mar. Aunque con este calor... No. Esta pista está muy lenta.» Daniel «Sanyo» Gutiérrez. Jugador World Padel Tour en Spot publicitario Pelotas Head SPro, 2019.

No hace falta escuchar a un jugador profesional acerca de la multitud de variables, de índole muy diversa, que van a condicionar las acciones de juego. Cualquier curioso que se inicie en este atractivo deporte lo va a constatar con rapidez. No obstante, perspectivas reduccionistas siguen siendo mayoritarias en el entrenamiento de un deporte como el pádel que requiere la constante interacción con un entorno cambiante e imprevisible.

Para comprender los entresijos de una acción de jue-

Fecha recepción: 17-06-20. Fecha de aceptación: 05-01-21

Enrique Lacasa Claver  
qlacasa@inefc.es

go (y por ende de los aprendizajes o del entrenamiento de esa determinada habilidad deportiva) se necesitará una visión amplia acerca de cómo se coordinan los diferentes agentes que participan. Esta se aleja de la visión dualista, imperante aún hoy en día, de separación entre cuerpo y mente y de que la percepción es previa y antecede (en una secuencia lineal) a la acción o al movimiento (Aivar & Ramón, 2006). Esa dualidad asume que el cerebro, a modo de director de orquesta, escoge cuál es la mejor opción dentro de un repertorio aprendido.

Debido a esta visión, tradicionalmente se ha aceptado que el aprendizaje de la técnica debe ser un paso previo a la introducción de los aspectos tácticos o de los principios operativos del juego (Mitchell, Oslin & Griffin, 2006). Habitualmente, los manuales de técnica proponen modelos de enseñanza que priorizan la adquisición de los elementos técnicos de forma lineal, ordenada, aislada y descontextualizada de las exigencias reales de la práctica. Esto tiene como consecuencia que abunden las situaciones de entrenamiento basadas en la repetición de ejercicios y en la corrección de la ejecución de un gesto técnico (considerando que hay un gesto ideal independientemente de las fuentes de información disponibles). Estas correcciones o instrucciones guiarán las intenciones, percepciones y acciones de juego (Headrick, Renshaw, Davids, Pinder & Araújo, 2015). Ese tipo de propuestas obvian las investigaciones que muestran que percibimos la realidad a través de una interacción dinámica con el entorno, con lo que percepción y acción constituyen un único proceso entre la acción de la persona que juega y la información del entorno (Gibson, 1979; Heras, 2012). Así mismo, obvian que las personas, como todo sistema vivo, somos sistemas complejos adaptativos, con infinitud de variables que interactúan y con la capacidad de autoorganizarse y aprender.

Los factores que aparecen en la cita con que se inicia la introducción (la altitud, el calor, la lentitud de la moqueta) constituyen en ese momento concreto del juego la información del entorno que constriñe el comportamiento del jugador en cuestión. A partir de la propuesta de Newell (1986) y de la actualización de Balagué, Pol, Ric, Torrents y Hristovski (2019), consideramos que los constreñimientos que influyen en el comportamiento se pueden dividir en: del organismo (personal, individual) o del medio (entorno, ambiente). A partir de la interacción de estos dos tipos de constreñimientos emergerán los constreñimientos de la tarea, que dependerán de las especificaciones que se hagan al entorno (incluidas las instrucciones o las acciones de otros

participantes) y las intenciones y disponibilidad de la persona que va a realizar la tarea (se requiere que la persona quiera y/o pueda realizar la tarea para que realmente las propuestas del entorno constriñan el comportamiento de esa persona). Los constreñimientos de la cita serán propios del entorno, mientras que el nivel del jugador, que es lo suficientemente elevado como para que ese tipo de factores constriñan su juego, será un constreñimiento del organismo o personal, así como su antropometría, la motivación, el control de las emociones o sus intenciones. En cuanto a los de la tarea, en este caso serán las reglas específicas del pádel que se apliquen, el tipo y balance de la pala, o la presión de la pelota, entre otros (Passos, Araújo, Davids & Shuttleworth, 2008). Todos estos aspectos, interrelacionados en todos los niveles y escalas temporales (Balagué et al., 2019), van a constreñir el juego de manera que el jugador organiza su comportamiento para resolver los problemas que, de forma dinámica, se le presentan (Davids, Button & Bennett, 2008). Este proceso se relaciona con un principio fundamental de los sistemas complejos como es la emergencia espontánea del comportamiento en base a la capacidad de autoorganización que posee todo sistema complejo adaptativo (Chow, Davids, Hristovski, Araújo & Passos, 2011).

El pádel no es un deporte individual. Se coopera con otra persona y se opone a otra pareja que colabora entre sí en un espacio dividido por una red. La posibilidad de continuidad que permite el reglamento al poder jugar con los cristales, la reja metálica e incluso el juego exterior exige una alta capacidad de adaptación continua y toma de decisiones (Sánchez-Alcaraz, 2014). El rebote de un tipo u otro de pelota en función del efecto provocado por la pareja adversaria, que pueda venir de un cristal con más o menos humedad, o incluso del entramado metálico lleva, a menudo, a explorar diversas y creativas coordinaciones motoras funcionales. El éxito en el juego reside tanto más en la eficacia que en la eficiencia, es decir, en que el jugador o jugadora resuelva los problemas que van a aparecer continuamente, aunque no sea con el golpe más ortodoxo.

De ahí que nos planteemos la necesidad de desafiar a quien aprende, o a quien pretende que emerja un juego más efectivo, a explorar patrones coordinativos de forma dinámica y aceptando la no linealidad de los procesos, más allá de la mera repetición e imitación de la acción (Chow, Davids, Button & Renshaw, 2015), y que tiendan a descubrir las respuestas más eficaces en función de sus características y del momento del entor-

no y de la situación de juego en que se dan.

Una propuesta que ha surgido a partir de estas directrices es la *Constraints-Led Approach*, y recientemente se han actualizado sus principios (Pol, Balagué, Ric, Torrents, Kiely & Hristovski, 2020) de forma que puede ayudar aún más a adecuarse al entrenamiento del pádel. Por eso y todo lo explicado anteriormente, el objetivo de este artículo es presentar esta propuesta y describir aplicaciones específicas al entrenamiento del pádel, ya sea en la iniciación o en etapas posteriores. Más detalladamente, se presentarán dos experiencias didácticas aplicables a cualquier contexto de entrenamiento de este deporte que se han estudiado de forma preliminar en diversos grupos de población.

El *Constraints-Led Approach* y su actualización teniendo en cuenta el anidamiento de constreñimientos

El *Constraints-Led Approach* (en adelante CLA) es una propuesta de entrenamiento en sintonía con el marco conceptual de las ciencias de la complejidad, los sistemas dinámicos y la psicología ecológica (Davids et al., 2008). Las ciencias de la complejidad nos ofrecen principios de comportamiento que podemos observar y estudiar en el deporte y que transforman muchos de los postulados de las teorías de entrenamiento. Eso va más allá de una metodología concreta, puesto que muchas pueden ser válidas en función del contexto, y consideramos que lo más interesante de su puesta en práctica es el cambio de objetivos. El cambio de paradigma pone en duda conceptos como la adquisición de habilidades concretas o de condición física, para pasar a concepciones globales y a la búsqueda de personas con más capacidad de adaptación y con más posibilidades de presentar comportamientos diversos y funcionales, así como en focalizar el entrenamiento en los equipos como sistemas, y no en sumas de individualidades (Pol et al., 2020). No obstante, las aplicaciones prácticas que se presentan en este artículo se centran en una metodología concreta, en la modificación de los constreñimientos de la tarea, y se propone su uso justamente con el objetivo de conseguir, tanto en la iniciación como en el rendimiento deportivo, jugadoras y jugadores más imprevisibles para el rival, pero más establemente coordinados con sus parejas de juego, estableciendo como consecuencia sinergias funcionales (Passos, Lacasa, Milho & Torrents, 2020). Ese camino no puede basarse exclusivamente en esta metodología, pero sí que podrá utilizarse en la pista como una buena herramienta.

La perspectiva en la cual se basa la CLA, que ofrece una explicación integrada para las respuestas adaptativas y variables del comportamiento deportivo, es principalmente la de las teorías de la Dinámica de la Coordinación de Scott Kelso (1995) y la Psicología Ecológica de James Gibson (1979). Entendemos, bajo esta perspectiva, que el comportamiento es un fenómeno de auto-organización que emerge de la continua interacción dinámica entre la persona que juega y las posibilidades, oportunidades o invitaciones a la acción (*affordances*) (Gibson, 1979) que el entorno ofrece a cada persona en cada situación única. Un globo «llovido» posibilita a unos a rematar para definir el punto, mientras que a otros tan solo les invita a mantener la bola al otro lado de la red. La confianza, el estado del marcador, la ubicación de la pareja contraria, la estabilidad previa al golpeo o el viento van a permitir (*afford*) acciones diferentes a personas diferentes en momentos diferentes. El jugador actúa porque percibe, y al moverse genera un nuevo entorno que va a dar lugar a múltiples variaciones con nuevas posibilidades de acción inmediata. La percepción de la situación y la acción motriz están profundamente entrelazadas de tal forma que no se pueden entender si no es de forma contextualizada (Araújo, Teques, Hernández-Mendo, Reigal & Anguera, 2016).

Nos preguntamos cómo a pesar de ejecutar con eficacia una bandeja en una serie de repeticiones descontextualizadas en situación de entrenamiento, una deportista no consigue transferirla, a continuación, a la situación de juego contextual. Esto ocurre porque el comportamiento de la jugadora no se puede entender sin una referencia sostenida al contexto ambiental específico en el que surge (Renshaw, Davids, Shuttleworth & Chow, 2009). Esa emergencia es fruto de la auto-organización, y el aprendizaje o la mejora del rendimiento se producirá a medida que la jugadora interactúe con la información del entorno. El enfoque que adoptamos aquí se centra más en la naturaleza recíproca y simultánea de la percepción y la acción que en los supuestos- mecanismos de control, representaciones internalizadas y estructuras de conocimiento almacenadas en la memoria (Woods, McKeown, Rothwell, Araújo, Robertson & Davids, 2020).

Todas las dimensiones del entrenamiento van a estar interrelacionadas. Los procesos de adquisición de habilidades y de coordinación interpersonal (elementos protagonistas en el entrenamiento del pádel) se correlacionarán con el resto de elementos, como el entrenamiento de las capacidades físicas. Habrá una relación circular y anidada entre todos ellos, interactuando

de abajo a arriba (un cambio celular modificará el comportamiento observable) y de arriba a abajo (un cambio en los valores enfatizados en el entrenamiento modificará los efectos del entrenamiento a nivel muscular), aunque actuarán a escalas temporales diferentes (Pol et al., 2020).

La CLA se centra eminentemente en la persona que aprende, pero creemos que además es importante considerar que la persona que guía los procesos también forma parte del sistema de aprendizaje (Renshaw & Brendan, 2018). Otro punto importante a tener en cuenta es que en deportes colectivos como el pádel será importante centrarse en el sistema que forma la pareja, y que esa sea el objetivo de los procesos de cambio. Tanto la persona como la pareja llegarán al entrenamiento con una dinámica intrínseca que interactuará con los constreñimientos de la tarea. Serán esos los más modificables por parte del equipo técnico o del profesorado, aunque no los únicos, y es en ellos en los que nos centraremos en las propuestas prácticas que presentamos.

### Aplicaciones al pádel

Al aproximarnos al pádel bajo el paradigma de las ciencias de la complejidad asumimos que jugadores y equipos son sistemas adaptativos complejos con propiedades no lineales inherentes. A pesar de que a menudo se cree que va a existir una proporcionalidad entre la mejora del comportamiento técnico con el rendimiento deportivo, no es exactamente así. El aprendizaje está sujeto a diferentes fases que no siguen ni una linealidad ni una proporcionalidad, y comprobamos cambios o transiciones sorprendentemente espectaculares combinados con periodos en qué quien aprende o entrena siente que no avanza. Una «extraordinaria técnica» puede ayudar en un momento dado a tener un resultado fantástico, y en el transcurso del mismo partido, una mala mirada de un compañero o el miedo a cerrar un partido pueden colapsar esa capacidad coordinativa y derivar en un estrepitoso fracaso. Hay en realidad una no-proporcionalidad entre habilidad técnica y rendimiento.

La jerarquía habitual también pierde fuerza cuando utilizamos el marco teórico de la complejidad. Se piensa, a menudo, que el cerebro se encarga de la completa organización, control y dirección del comportamiento de la misma forma que pensamos que el equipo técnico ejerce ese poder sobre el/la jugador/a. La realidad, en cambio, se encarga de ofrecernos muestras recurrentes de que quizá esa relación entre el cerebro y el compor-

tamiento se modela de una forma menos jerárquica (Van Orden, Hollis & Wallot, 2012). Es de la capacidad adaptativa y de auto-organización de un organismo que habita un entorno cambiante de la que va a emerger una acción funcional. Y con entorno cambiante ya no sólo nos referimos a aquellos aspectos del medio con los que iniciábamos estas reflexiones. Nuestro repertorio de gestos no está almacenado en el sistema nervioso central a la espera de ser escogido a voluntad. Es la relación de las posibilidades de acción y recursos de la persona en función de los constreñimientos impuestos por el entorno -que varían de forma continua y dinámica- la que va a provocar la emergencia de comportamiento (Araújo & Davids, 2011). De ahí que cuando optamos por un reduccionismo sistemático, eliminando elementos de la lógica interna del juego, debemos considerar el hecho de que estamos sustrayendo la posibilidad al aprendiz de la ontología mínima (individuo-ambiente) que conforma el rendimiento deportivo.

Todo aquel que practica un deporte de raqueta ha sentido alguna vez que ha fallado alguna bola «por pensar demasiado». Que quizás, durante la vorágine dinámica del juego, concentrado en estado de *flow* se resuelven eficazmente jugadas... ¡sin saber exactamente cómo! No es imprescindible conocer o planificar las respuestas, estas emergerán espontáneamente sin necesidad de que alguien, desde dentro o desde fuera, lo ordene.

Abordar la iniciación o el rendimiento desde esta perspectiva sugiere que una función fundamental del profesorado o del equipo técnico es la de manipular constreñimientos clave para facilitar la emergencia y el descubrimiento de comportamientos funcionales (Renshaw et al., 2009). Se enfatiza la idea del jugador que trata de descubrir la solución al problema que se le propone, que conecta íntimamente con la necesaria toma de decisiones y exige una actitud activa por parte del aprendiz (Martín-Barrero & Camacho-Lazarraga, 2020). No solo debemos permitir, sino que debemos estimular al alumnado o deportistas a que exploren tantas formas como sean posibles para ser eficaces en la solución de un problema motor. Incluso considerar aquellas que no funcionen va a ser importantísimo en el proceso de aprendizaje, ya que los «errores» serán en realidad fluctuaciones del comportamiento necesarias para que se produzca el cambio (Caldeira, Paulo, Infante & Araújo, 2019). Debemos tratar, además, de que ese aprendizaje por descubrimiento ocurra en prácticas que estén en sintonía con el contexto de rendimiento para el que estamos preparando al deportista, puesto que le va a

permitir ser más sensible a las fuentes de información disponibles y afinar, en base a la interacción, qué oportunidades de acción se van ofreciendo continuamente. La investigación nos muestra evidencias de que esa variabilidad no constituye una desviación del gesto experto ideal que debemos corregir cuanto antes en los que se inician (Seifert, Orth, Button, Brymer & Davids, 2017). La variabilidad nos lleva a explorar cuál es el comportamiento adaptativo más apropiado en cada situación. Bajo este paradigma, la adaptabilidad se refiere a la adecuada relación entre comportamientos persistentes (estabilidad) y comportamientos variables (flexibilidad). Se pretende formar deportistas que exhiban patrones de comportamiento muy estables cuando sea necesario, pero capaces también de variarlos cuando la dinámica del juego lo exige. Aspecto de especial relevancia en el pádel en el que tanto penaliza el error no forzado. El entrenamiento de esa variabilidad de movimiento que va a soportar la adaptación, la sintetizaba magistralmente Nicolai Bernstein (1967) con el aforismo «*repetition without repetition*», nada menos que en la segunda mitad del siglo XX. El autor aludía así al hecho de que en lugar de «enseñar» el gesto técnico adecuado, lo que se debe practicar es la búsqueda de la solución motora óptima para cada situación.

Cualquier practicante de deportes de raqueta ha presenciado innumerables veces la escena del instructor con unos niños o adultos en fila esperando su momento para ejecutar la salida de pared de revés, o ejerciendo de modelo en la ejecución de golpes de pádel como la bandeja sin pelota por medio. En esos ejemplos, con el afán de facilitar la tarea, se cae en la descomposición y la descontextualización. Comprender los elementos informativos clave específicos de cada deporte que contribuyen a regular el comportamiento nos va a permitir diseñar tareas de aprendizaje representativas que mantengan o se aproximen a las demandas reales (Cantos & Moreno, 2019). Por ejemplo, mantener la estructura de cancha dividida y de colaboración y oposición en espacio y tiempo alternativo nos parecen imprescindibles para generar situaciones de enseñanza-aprendizaje o de entrenamiento que permitan la emergencia de comportamientos que sirvan para que los jugadores o las jugadoras sean más funcionalmente diversos. Si el juego del pádel es una actividad de una exigencia informativa altísima, ¿no deberíamos también plantear escenarios ricos en posibilidades de acción en nuestras clases y entrenamientos? Diversos estudios sobre la práctica con tareas no representativas ponen en duda la transferibilidad de los patrones de movimientos de-

sarrollados en los ejercicios descontextualizados a los entornos de rendimiento (Pinder, Davids & Renshaw, 2012).

En los deportes de raqueta existen algunos estudios basados en esta perspectiva, en los cuales se manipuló el equipamiento deportivo. En el tenis, por ejemplo, se ha manipulado la altura de la red y las dimensiones de la pista para mejorar las oportunidades de aprendizaje (Limpens, Buszard, Shoemaker, Savelsbergh & Reid, 2018; Bayer, Ebert & Leser, 2017). Otras modificaciones que se utilizan, aunque no existen estudios al respecto, son el uso de raquetas de diferentes materiales y dimensiones, incluir pelotas de presión variada, indiacas o globos, proponer redes de doble altura, de paso variable o el uso de «zona muerta». Existe, hoy en día, una gran variedad de opciones comerciales de palas y pelotas adaptadas. Aún así, no es difícil ver niñas y niños de temprana edad en las escuelas de pádel con palas pesadas que no facilitan su manejo, utilizando una pelota reglamentaria y jugando en campo y reglamento adulto. Es ampliamente reconocido en la literatura del desarrollo motor que debemos superar la idea de que el niño es un adulto en pequeño (Davids, Araújo, Correia & Vilar, 2013).

Es competencia del profesorado o de los equipos técnicos adecuar los diseños de las tareas a las características y necesidades de un niño o niña de categoría benjamín, por ejemplo. Si bien existen algunas iniciativas muy loables en el diseño de pistas adaptadas, es lógico pensar que las cuestiones financieras y de espacio suponen un problema para los clubes difícil de superar. Por ese motivo, a continuación, se presentan dos experiencias que permiten modificar la tarea, adaptándola a las necesidades del proceso de enseñanza-aprendizaje y entrenamiento, sin que suponga un sobrecoste para las entidades deportivas.

Las situaciones reducidas (small-sided games) como constreñimiento de la tarea en el aprendizaje y entrenamiento del pádel

Se presentan a continuación dos estudios piloto al respecto del impacto de la manipulación de constreñimientos de la tarea sobre el juego de pádel. El primero (el pekkepadel) pone el foco en el desarrollo de practicantes funcionalmente diversos en la iniciación del pádel. El segundo (el cruzadito) pone el énfasis en comprender los cambios fisiológicos y cinemáticos que pueden provocar las situaciones reducidas en pádel.

*El pekkepadel: pádel adaptado a niñas y niños en su proceso de aprendizaje*

El objetivo del estudio consistía en analizar el efecto de escalar el espacio de juego, móvil e implemento en el comportamiento de niñas y niños.

### Metodología

El estudio comparó el comportamiento mostrado por 8 jugadoras y jugadores de la escuela de menores (5 niños y 3 niñas, edad:  $7.6 \pm 0.7$ ) disputando sendos partidos a nueve juegos. El primero con pala, pelota y dimensión del campo habitual (20x10 m), mientras que el otro en un campo de pádel adaptado (10x6 m) con una red portátil perpendicular al cristal de fondo, pala de 33 cm y pelota soft1. Se registró en vídeo los partidos con una cámara GoPro Hero 3 full HD y gran angular. Se utilizó un instrumento de observación validado (Almonacid-Cruz, 2011) que agrupa los diferentes golpes habituales del juego en cuatro categorías: golpes de fondo, de pared, de red y de definición. Para el análisis observacional se utilizó un *software* específico de análisis observacional (Longomatch Pro v.1.2.2., Fluendo, Barcelona, España). Después de un proceso de entrenamiento del observador (Licenciado Ciencias de la Actividad Física y el Deporte y monitor en activo de la escuela de pádel) se garantizó una fiabilidad del 95% de coincidencia de las observaciones realizadas con una semana de diferencia. Tras proceder a la codificación de los cuatro partidos, se exportaron los datos con el fin de tratamiento estadístico. Se empleó la prueba *Saphiro-Wilk* para comprobar la distribución normal de cada una de las variables. A partir de los resultados obtenidos en la prueba de normalidad, con las variables fondo, pared y red, se utilizó la prueba paramétrica *t* de *Student* de muestras relacionadas; y para la variable definición se realizó la prueba no paramétrica de *Wilcoxon*. Se estableció un nivel de significación de  $p < .05$ . Todos los análisis de datos se realizaron con el paquete estadístico SPSS v. 23.0 para Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, EUA).

Tabla 1.  
Comparación de las medias y desviación estándar de los tipos de golpes codificados

	PekkePádel (10x6m)		Pádel (20x10 m)		p
	M	DE	M	DE	
Fondo	63.25	9.91	64.75	15.09	.754
Pared	8.75	2.22	3.00	0.82	.007**
Red	21.25	4.50	5.25	1.26	.005**
Definición	3.75	2.06	0.50	1.00	.066

\*\* $p < .01$

### Resultados y discusión

En la tabla 1 se muestra un resumen de los golpes agrupados en las categorías citadas anteriormente.

El análisis de los datos muestra la emergencia de un mayor número de golpes en tres de las cuatro categorías analizadas al competir en el formato del juego reducido. Un espacio reducido ofrece la oportunidad de aproximarse a la red (adaptada también al tamaño de los jóvenes jugadores) y tratar de llevar la iniciativa del juego. Una pala más ligera y más pequeña ofrece una nueva gama de posibilidades de coordinación de movimientos, hasta el punto de que se atrevieran incluso con acciones de contrapared y contrapared lateral que difícilmente el espacio reglamentario les hubiera permitido practicar. La manipulación de las dimensiones del campo, así como la reducción de tamaño y peso de pala y pelota, posibilitan oportunidades de acción diversas y creativas.

### El cruzadito: un juego reducido cruzado

El objetivo del estudio pretendía comparar los requerimientos fisiológicos, cinemáticos y neuromusculares específicos del pádel en participantes de diferentes edades entre un juego reducido común en el pádel, el juego 1vs.1 cruzado, y el juego reglamentario.

### Metodología

Participaron en el estudio 12 jugadores de pádel amateur divididos en tres grupos de edad: 4 menores ( $14.25 \pm 1.50$ ), 4 adultos ( $39.50 \pm 8.50$ ) y 4 veteranos ( $63.33 \pm 4.51$ ). Jugaron 12 minutos en dos condiciones diferentes: a) situación reglamentaria y b) juego modificado. El juego modificado consistía en jugar solo en medio campo cruzado y con las reglas habituales de pádel. Los jugadores llevaron dispositivos inerciales WIMU™ adaptados mediante un chaleco y un receptor de frecuencia cardíaca ajustado al pecho (RealTrack System, Almería, España) con el fin de registrar variables cinemáticas, fisiológicas y neuromusculares. Molina-Carmona, Gómez-Carmona, Bastida-Castillo y Pino-Ortega (2018) han constatado la validez y fiabilidad del dispositivo para este tipo de registros. Concretamente las variables susceptibles de análisis fueron la frecuencia cardíaca, la distancia total recorrida, aceleraciones, desaceleraciones, velocidades máximas, mínima y carga de trabajo (*playerload*).

Las variables se resumieron mediante la mediana (Mdn) y el intervalo intercuartil (IQI), y se compararon antes y después de jugar mediante dos pruebas no paramétricas: la estimación del intervalo de confianza de la mediana de la diferencia (Md 95% CI) y la prueba de aleatorización de Fisher-Pitman ( $p$ ).



Tabla 2. Comparación de las diferentes variables cinemáticas, fisiológicas y neuromusculares de los participantes en situación de partido habitual respecto del juego reducido y condicionado.

Variable	Pista total (20 x 10 m)		Media pista cruzada		Md	95 % CI	p
	Mdn	IQR	Mdn	IQR			
FC media (lpm)	121,0	[113,0; 161,0]	131,5	[122,0; 172,0]	11,0	[0,5; 19,5]	0,005
FC máx (lpm)	144,0	[130,0; 184,0]	154,0	[140,0; 189,0]	6,5	[-5,5; 15,0]	0,035
PL min (a.u)	0,53	[0,49; 0,68]	0,67	[0,61; 0,75]	0,13	[0,03; 0,23]	0,002
Dist cubierta (m)	511,8	[454,1; 587,0]	643,0	[577,8; 666,6]	111,8	[70,4; 166,4]	0,001
DistCub/min (m/min)	41,5	[39,8; 48,1]	50,8	[48,0; 55,2]	9,4	[6,3; 13,1]	0,001
Número Acel	285,0	[261,0; 333,5]	336,0	[315,0; 361,0]	59,0	[-3,0; 79,0]	0,006
Número Decelerac	284,5	[260,5; 332,5]	336,0	[314,0; 361,0]	58,5	[-2,5; 79,0]	0,006
Núm. Acel/min	23,5	[21,7; 25,6]	27,8	[26,0; 28,8]	5,0	[-0,14; 6,5]	0,005
Núm. Decel/min	23,5	[21,6; 25,6]	27,8	[26,0; 28,8]	4,9	[-0,10; 6,5]	0,004
Acel máx	3,5	[3,2; 3,8]	3,2	[2,9; 4,0]	-0,03	[-0,74; 0,76]	0,644
DCC máx	-3,0	[-3,5; -2,7]	-3,0	[-3,5; -2,9]	-0,04	[-0,65; 0,46]	0,366
Vel med (km/h)	2,9	[2,9; 3,1]	3,3	[3,1; 3,5]	0,32	[0,21; 0,54]	0,001
Vel máx (km/h)	12,0	[11,4; 12,7]	12,0	[11,43; 13,16]	0,28	[-1,1; 0,97]	0,679
Cantidad Impactos	39,5	[32,0; 64,0]	56,0	[37,0; 99,0]	5,0	[-4,5; 68,5]	0,049
Player load (a.u)	6,6	[5,9; 8,2]	8,7	[7,2; 9,2]	1,5	[0,35; 3,4]	0,002

Niza, n = número de casos; Mdn = mediana; IQR = intervalo intercuartil; Md = mediana de la diferencia; CI = intervalo de confianza; p = valor p bilateral.

### Resultados y discusión

La manipulación de constreñimientos de la tarea lleva consigo adaptaciones del comportamiento del jugador. Jugar con la mitad de espacio podía parecer, a priori, que la demanda de esfuerzo físico, respecto la exigencia del juego reglamentario, se debía reducir también. Los resultados del estudio que se muestran en la tabla 2 indican que el impacto sobre la demanda fisiológica del jugador no sólo no fue menor, sino que, en la mayoría de las variables analizadas, lo incrementó ligeramente. Esta tendencia se muestra en consonancia con otros estudios (Casamichana & Castellano, 2010; Dellal, Owen, Wong, Krstrup, Van Exsel & Mallo, 2012) en que también comparaban variables fisiológicas y cinemáticas entre situaciones de juego reducido y juego reglamentario en fútbol. Los autores constataron además en sus conclusiones la necesidad de contar con las evidencias de este tipo de estudios para que los equipos técnicos comprendan las diferentes demandas fisiológicas impuestas a los jugadores al manipular los constreñimientos de la tarea. Así lo aseveran también Sánchez-Alcaraz, Orozco-Ballesta, Courel-Ibáñez y Sánchez-Pay (2018) en uno de los primeros estudios que ha evaluado la condición física en jugadores jóvenes en pádel a través de diversos test de condición física.

En nuestro trabajo, las variables de frecuencia cardíaca media y máxima reportaron valores de exigencia mayores en el juego reducido que en la situación competitiva en espacio reglamentario en los tres grupos de población. Lo mismo sucedió con distancias recorridas, aceleraciones, deceleraciones, velocidad, impactos y carga total de trabajo. Este hecho sugiere que la modificación de los constreñimientos de la tarea en el sentido que plantea este estudio se trata de una interesante herramienta para entrenar respetando la interacción anidada de todos los factores que intervienen en el aprendizaje y rendimiento deportivo.

Como no puede ser de otra forma, el estudio nos genera nuevas cuestiones y curiosidades acerca de cómo van a cambiar estos valores a medida que podamos incorporar nuevos constreñimientos en formas de nuevas reglas u otros tipos de limitaciones. La literatura sugiere que al alterar esos factores va a variar la carga de trabajo percibida por los jugadores, así como sus respuestas fisiológicas, tácticas y técnicas (Halouani, Chtourou, Gabbett, Chaouachi & Chamari, 2014). Es evidente que necesitamos estudiarlas mucho más para comprender esas interacciones y escoger aquellos constreñimientos de la tarea susceptibles de mejorar los procesos de aprendizaje y rendimiento de nuestras/os jugadoras/es.

### Conclusiones

Consideramos que el entrenamiento requiere una reflexión profunda sobre sus objetivos y sobre la comprensión de los fenómenos que emergen durante cualquier proceso de cambio, con el fin de poder diseñar tareas más adecuadas a dichos objetivos. El *constraints-led approach* es una propuesta que está en sintonía con el paradigma de la complejidad, asumiendo los procesos de auto-organización, la sensibilidad en la elección de constreñimientos y formas de manipulación, el rigor en el diseño de aprendizajes representativos o la creatividad para infundir la variabilidad necesaria. Esta propuesta se basa en la psicología ecológica y en el acoplamiento percepción-acción, y requiere escucha activa con todas las personas que intervienen en los procesos de cambio, el conocimiento de los principios operativos del juego y la comprensión de las capacidades individuales de alumnado o deportistas. Además, la propuesta se ha actualizado teniendo en cuenta la causalidad anidada y circular entre todos los constreñimientos.

La reducción de las dimensiones del campo y del equipamiento en la iniciación, o la modificación de la estructura espacial en cualquier etapa deportiva parecen dos propuestas válidas para conseguir una mayor diversidad funcional en jugadoras y jugadores de pádel, pudiendo conseguir, incluso, una mayor exigencia física del juego.

### Agradecimientos

Este estudio ha sido posible gracias a los recursos que el Instituto Nacional de Educación Física de Cataluña (INEFC) destina a la investigación, así como a Ekke-

## Viding al facilitarnos acceso al conjunto de la sección de pádel.

### Referencias

- Aivar, M.P., & Ramon, T. (2006). La dualidad percepción-acción: la necesidad de recuperar la crítica de Dewey a la teoría del arco reflejo. *Revista de Historia de la Psicología*, 27(2/3), 269-277.
- Almonacid-Cruz, B. (2011). *Perfil de juego en pádel de alto nivel*. (Tesis doctoral). Jaén: Universidad de Jaén.
- Araújo, D., & Davids, K. (2011). What Exactly is Acquired During Skill Acquisition? *Journal of Consciousness Studies*, 18(4), 7-23.
- Araújo, D., Teques, P., Hernández-Mendo, A., Reigal, R., & Anguera, M. T. (2016). La toma de decisión, ¿es una conducta observable?: Discusión sobre diferentes perspectivas teóricas utilizadas en el estudio del rendimiento deportivo. *Cuadernos de psicología del deporte*, 16(1), 183-196.
- Balagué, N., Pol, R., Torrents, C., Ric, A., & Hristovski, R. (2019). On the relatedness and nestedness of constraints. *Sports Medicine-Open*, 5(1), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s40798-019-0178-z>
- Bayer, D., Ebert, M., & Leser, R. (2017). A comparison of the playing structure in elite kids tennis on two different scaled courts. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 17(1-2), 34-43. <http://dx.doi.org/10.1080/24748668.2017.1303977>
- Bernstein, N.A. (1967) *The coordination and regulation of movements* Oxford: Pergamon Press.
- Caldeira, P., Paulo, A., Infante, J., & Araújo, D. (2019). A influência da pedagogia não-linear e da abordagem baseada nos constrangimentos no treino do remate no voleibol. *Retos: Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, (36), 590-596
- Cantos, J., & Moreno, F. J. (2019). Pedagogía no lineal como método de enseñanza de los comportamientos tácticos en los deportes de equipo, aplicación al rugby. *Retos: Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, (35), 402-406.
- Casamichana, D., & Castellano, J. (2010). Time-motion, heart rate, perceptual and motor behaviour demands in small-sides soccer games: Effects of pitch size. *Journal of Sports Sciences*, 28(14), 1615-1623. <http://dx.doi.org/10.1080/02640414.2010.521168>
- Chow, J.Y., Davids, K., Hristovski, R., Araújo, D., & Passos, P. (2011). Nonlinear pedagogy: Learning design for self-organizing neurobiological systems. *New Ideas in Psychology*, 29(2), 189-200. <http://dx.doi.org/10.1016/j.newideapsych.2010.10.001>
- Chow, J.Y., Davids, K., Button, C., & Renshaw, I. (2015). *Nonlinear Pedagogy in Skill Acquisition: An introduction*. New York: Taylor&Francis Group. <http://dx.doi.org/10.4324/9781315813042>
- Davids, K., Araújo, D., Correia, V., & Vilar, L. (2013). How small-sided and conditioned games enhance acquisition of movement and decision-making skills. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 41(3), 154-161. <http://dx.doi.org/10.1097/JES.0b013e318292f3ec>
- Davids, K., Button, C., & Bennett, S. (2008). *Dynamics of skill acquisition: A constraints-led approach*. Human Kinetics.
- Dellal, A., Owen, A., Wong, D. P., Krustup, P., Van Exsel, M., & Mallo, J. (2012). Technical and physical demands of small vs. large sided games in relation to playing position in elite soccer. *Human movement science*, 31(4), 957-969. <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2011.08.013>
- Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton Mifflin
- Halouani, J., Chtourou, H., Gabbett, T., Chaouachi, A., & Chamari, K. (2014). Small-sided games in team sports training: a brief review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(12), 3594-3618. <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0000000000000564>
- Headrick, J., Renshaw, I., Davids, K., Pinder, R. A., & Araújo, D. (2015). The dynamics of expertise acquisition in sport: The role of affective learning design. *Psychology of Sport and Exercise*, 16, 83-90. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psychsport.2014.08.006>
- Heras Escribano, M. (2012). Comprender la realidad sin representaciones: Affordances y psicología ecológica. *Ciencia Cognitiva*, 6(2), 48-50.
- Kelso, J.A.S. (1995). *Dynamic patterns: the self-organisation of brain and behaviour*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Limpens, V., Buszard, T., Shoemaker, E., Savelsbergh, G. J., & Reid, M. (2018). Scaling constraints in junior tennis: the influence of net height on skilled players' match-play performance. *Research quarterly for exercise and sport*, 89(1), 1-10. <http://dx.doi.org/10.1080/02701367.2017.1413230>
- Martin-Barrero, A., & Camacho-Lazarraga, P. (2020). El diseño de tareas de entrenamiento en el fútbol desde el enfoque de la pedagogía no lineal. *Retos: Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, (38), 768-772.
- Mitchell, S.A., Oslin, J.L., & Griffin, L.L. (2006). *Teaching sports skills: A tactical games approach* (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Molina-Carmona, I., Gómez-Carmona, C. D., Bastida Castillo, A., & Pino-Ortega, J. (2018). Validez del dispositivo inercial WIMU PRO™ para el registro de la frecuencia cardiaca en un test de campo. *Sportk Revista Euroamericana de Ciencias del Deporte*, 7, 81-86.
- Newell, K. M. (1986). Constraints on the development of coordination. En M. G. Wade & H.T.A. Whiting (Eds.), *Motor skill acquisition in children. Aspects of coordination and control*, (pp. 341-360). Amsterdam: Martinus Nijhoff.
- Passos, P., Araújo, D., Davids, K., & Shuttleworth, R. (2008). Manipulating constraints to train decision making in rugby union. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 3(1), 125-140. <http://dx.doi.org/10.1260/174795408784089432>
- Passos, P., Lacasa, E., Milho, J., & Torrents, C. (2020). Capturing Interpersonal Synergies in Social Settings: An Example within Badminton Cooperative Task. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, 24(1), 59-78.
- Pinder, R. A., Davids, K., & Renshaw, I. (2012). Metastability and emergent performance of dynamic interceptive actions. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15(5), 437-443. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2012.01.002>
- Pol, R., Balagué, N., Ric, A., Torrents, C., Kiely, J., & Hristovski, R. (2020). Training or Synergizing? Complex Systems Principles Change the Understanding of Sport Processes. *Sports Medicine-Open*, 6(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s40798-020-00256-9>
- Renshaw, I., Davids, K.W., Shuttleworth, R., & Chow, J.Y. (2009). Insights from ecological psychology and dynamical systems theory can underpin a philosophy of coaching. *International Journal of Sport Psychology*, 40(4), 540-602.
- Renshaw, I., & Brendan, M. (2018). A Constraint-Led Approach to Coaching and Teaching Games: Can going back to the future solve the «they need the basics before they can play a game» argument? *Ágora para la Educación Física y el Deporte*, 20(1), 1-26. <http://dx.doi.org/10.24197/aefd.1.2018.1-26>
- Sánchez-Alcaraz, B.J. (2014). Diferencias en las acciones de juego y la estructura temporal entre el pádel masculino y femenino profesional. *Acción Motriz*, 12, 17-22
- Sánchez-Alcaraz, B., Orozco-Ballesta, V., Courel-Ibañez, J., & Sánchez-Pay, A. (2018). Evaluación de la velocidad, agilidad y fuerza en jóvenes jugadores de pádel. *Retos: Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, (34), 263-266.
- Seifert, L., Orth, D., Button, C., Brymer, E., & Davids, K. (2017). An ecological dynamics framework for the acquisition of perceptual-motor skills in climbing. En F. Feletti (Ed.), *Extreme Sports Medicine*, (pp. 365-382). Springer, Cham. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-28265-7\\_28](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-28265-7_28)
- Van Orden, G., Hollis, G., & Wallot, S. (2012). The blue-collar brain. *Frontiers in physiology*, 3, 207. <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2012.00207>
- Woods, C., Mckeown, I., Rothwell, M., Araújo, D., Robertson, S., & Davids, K. (2020). Sport practitioners as sport ecology designers: How ecological dynamics has progressively changed perceptions of skill 'acquisition' in the sporting habitat. *Frontiers in Psychology*, 11, 654. <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00654>



# CAPÍTULO 7

Rink Hockey "Ok-Xs". Motor Behavior Effects of Scaling Games in U8 Players



Lacasa, E., Canton, A., Brufau, I., March-Llanes, J. y Torrents, C. (En revisión). Rink Hockey "Ok-XS". Motor behavior effects of scaling games in U8 players. *International Journal of Sports Science & Coaching*.

## Rink Hockey "Ok-XS". Motor behavior effects of scaling games in U8 players.

Enrique Lacasa<sup>1\*</sup>, Albert Canton<sup>1</sup>, Isidre Brufau<sup>2</sup>, Jaume March-Llanes<sup>3</sup> and Carlota Torrents<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Complex System in Sports Research Group, National Institute of Physical Education from Catalonia, University of Lleida, Lleida, Spain

<sup>2</sup>Coach School from Catalan Skating Federation (FECAPA)

<sup>3</sup>NeuroGPA Research Group, University of Lleida, Lleida, Spain

### ABSTRACT

In rink hockey, it is not usual to find proposals of mini-hockey in early competition. This study aimed to analyse the effect of the manipulation of court dimensions and the number of participants on the motor behaviour of players. Twenty-four rink hockey players (three girls and 21 boys; age:  $7.1 \pm 0.4$  years) U8 category participated in this study. Three types of 3-minute games were played twice, with 3-minute breaks, following a random order: i) Four vs. four (plus goalkeeper) on an official pitch (40x20m); ii) Four vs. four (plus goalkeeper) on a rink measuring 20x13m, and iii) Two vs. two (plus goalkeeper) on a court measuring 20x10m. All games were video-recorded and a systematic observation instrument was used to register the actions using the Lince PLUS observation tool (v.1.2.0-2020). The individual technical-tactical behavioral variables of the court players were analysed, considering: (a) actions without the ball; (b) actions with the ball; and (c) final phase of ball possession. Statistical analysis was performed based on the Generalized Mixed Poisson Model. The results revealed that total actions were increased in both scaling situations compared to situation 1 in which young rink hockey players officially compete (S1 vs. S3;  $p < .001$ ; Odds Ratio (OR)=2,12) (S1 vs. S2;  $p < .001$ ; Odds Ratio (OR)=1,48). The results revealed that in small-sided games more affordances emerge concerning the official rules. The data obtained suggest that competition at this age on an official court (40x20m) is not recommended for development of the variety of the set of individual technical-tactical behaviors.

**Keywords:** mini-hockey, constraints, affordances, small-sided games, young players.

## INTRODUCTION

Rink hockey is a form of hockey played on a dry surface using quad skates and a stick (similar to the ones used in other forms of hockey). It can be played on both quad skates and inline skates, although in this paper we will only refer to form played on quad skates. These skates allow the player greater manoeuvrability, resulting in a very fast and dynamic game, demanding quick technical and tactical behaviors, direction changes, lots of accelerations and decelerations [1] and high physiological demands [2, 3, 4]. The official matches last for two periods of 25 minutes, although the real playing time (including rest times) can be 70 or 80 minutes [4]. Each team is composed of four players and the goalkeepers.

Many international Federations of different sports scale the equipment and field dimension to adapt them for children [5, 6]. Literature has shown that reducing pitch dimension, the adaptation of the equipment or practicing Small-Sided Games (SSG) have clear benefits in teaching-learning sport processes [7, 8, 9, 10]. Nevertheless, official Spanish rules of rink hockey do not propose any scaling of the pitch or the equipment for young players. For this reason, children compete playing on a pitch of 40x20m, using a stick weighing 500 gr, 90-115 cm in length and with a ball weighing 155 gr and 23 cm in diameter. Undoubtedly, the logistical difficulties that come with playing in a fenced enclosure have contributed to the fact that mini-hockey does not officially exist. Some adaptations have been proposed in Spain and Portugal. Ok-XS aims to be one of those proposals in the Catalan Skating Federation. This is already being tested in the format of specific meetings to analyse the feasibility of its implementation and it is the focus of this paper. The name of the proposal is Ok-XS Project, and it proposes a new game for young players based on the scaling of the equipment (stick and ball) and court, reduction of number of players (1x1, 2x3, 3x3 and 4x4 with or without goalkeeper) and playing time (different parts of 2 or 3 minutes). The effects of the manipulation of these task constraints on the players' behavior when playing to this scaled game remain unknown.

Reductionist and decontextualized models are often used in the learning process of team sports trying to teach technical elements separately according to their complexity (i.e., the task of driving the ball between cones to improve the sliding action with skates). Nevertheless, it has been shown that representative proposals based on variability contribute to fostering adaptive behaviors [11].

A Coordination Dynamics approach, based on Complex Systems theories and Synergetics, proposes the understanding of both individuals and teams as complex adaptive systems, whose behavior evolves in response to physical and informational constraints [12]. Functional patterns of coordinated behavior emerge from on-going interactions between systems components and the environment through a process of self-organization [13]. After the application of this approach to motor learning, the constraints-led approach was proposed to apply it to sport settings [14] suggesting that the manipulation of constraints is the way to create perceptual-movement couplings. Constraints can be divided into organismic or personal, environmental, and task-related [15], task constraints being relational variables distributed between the person or organism and the environment [16]. When imposing constraints on the system (i.e., the player or the team), the coupled components change together, rather than independently, due to the nestedness and relatedness of all the constraints acting on the system [17]. For this reason, the manipulation of task constraints leads to transformations of all the training processes. Moreover, in team sports, the stability and reproducibility of game situations are rare, and teams and players have to deal with a highly unstable environment. In that scenario, as happens in any other context of biological evolution, the fittest are not necessarily the strongest, nor the fastest, but the most diverse [17]. Thus, the manipulation of constraints should focus on increasing the diversity and unpredictability of the behaviors of players, but also of teams, instead of reducing the training unit to individual players or to subsystems of those players. Team collaborative properties can be developed through challenging and varied environments and playing in collective contexts [18]. In this paper only the effect of the modification of the task constraints related with the manipulation of the task, by scaling game elements, is studied.

This study is focused on observational variables, specifically on individual motor skills, named technical-tactical actions in the literature. Nevertheless, these variables cannot be considered isolated when training, as motor skill training is based on nested dependence and circular causality of constraints, rather than based on prescription.

In team sports, the manipulation of task constraints is used for training at all levels, especially with the so-called Small-Sided Games, a training task widely described in the literature [19, 20]. SSG exploit

inherent self-organizing tendencies and, due to the nestedness of constraints, can simultaneously develop technical or tactical skills (whatever this differentiation may mean), as well as physiological adaptations. SSG are grounded in the use of task constraints as a strategy to limit or allow multiple behaviors while maintaining the basic characteristics of the real game [21]. The manipulation of task constraints related with scaling elements of the game, such as space, ball or stick, is of utmost importance when training children for its multiple benefits in their learning process [5]. These benefits are not only related to physical adaptations [22], but also in their participation and commitment [23], motivation, performance [24], decision-making [25], enhancing creativity [26,27] or even for safety reasons [28].

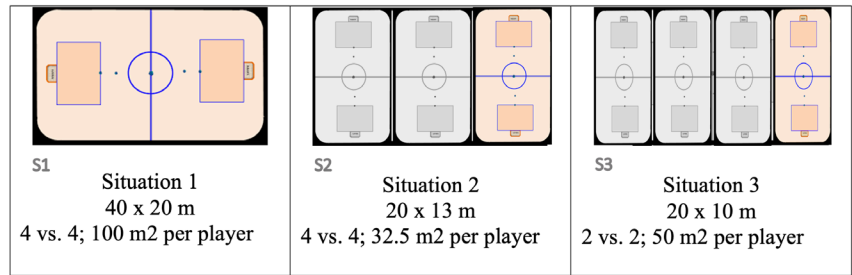
The aim of this study was to analyse the effects of manipulating the number of players as well as the scaling of pitch in three different situations on young players' technical-tactical behavior in Rink Hockey. Results of this study will be helpful to analyse the possible effects of the Ok-XS proposal for the learning process of young players. The scaling of the equipment was not studied because some children had never trained using the regulation stick and ball. We hypothesized that the reduction of the number of players and the scaling of pitch dimension would lead to more technical-tactical actions performed by young players, fostering as a result more diverse players and teams.

## **MATERIALS AND METHODS**

### *Participants*

Three female and 21 male hockey players from two different clubs ( $M = 7.1$  years,  $SD = 0.4$ ) and three different teams from two clubs participated in the study. They had two years' experience playing rink hockey and trained twice a week (approximately 75 minutes per training session). Goalkeepers also participated in the protocol, but were excluded from the data analysis due to their different game dynamics to field players. The players performed 4733 offensive and defensive technic-tactical actions in 24 SSGs. All participants were informed of the investigation procedures, and a parent or legally authorized representative provided prior informed





**Figure 1.** Distribution of the pitch dimensions and the players in S1, S2 and S3

consent. The study protocol was adjusted to the recommendations of the Declaration of Helsinki and was approved by the Ethics Committee of clinical investigations of the Sports Administration of Catalonia (09-2018-CEICGC).

### Study design

To determine the effect of the manipulations, different games were played in one single training session (on three different days, one day for each team) after a rink hockey 15-minute warm-up exercise as usually worked by the club. In each session, players were divided into two balanced teams –in number of players and team level- (A and B) of 4 outfield players and a goalkeeper. All teams were randomly distributed to ensure that the teams' performance, roles, physical, technical and tactical levels were comparable. Three different game situations were played twice in the same session by each player, and consisted of: situation 1 (S1): Four field players from team A against four field players from team B (plus goalkeepers) in an official field size (40 x 20 m; 800 m<sup>2</sup>, playing area of 100 m<sup>2</sup> per player); Situation 2 (S2): Four field players from team A against four field players from team B (plus goalkeepers) on a field of 20m x 13m (260 m<sup>2</sup>, playing area of 32.5 m<sup>2</sup> per player); and situation 3 (S3): Two field players from team A against two field players from team B (plus goalkeepers) in a field size of 20m x 10m (200 m<sup>2</sup>, playing area of 50 m<sup>2</sup> per player) (see Figure 1). That is, the S2 is the one that will be more demanding regarding the space-player relationship. Each situation lasted three minutes with three-minute rest periods between them. S3 (2vs. 2) was repeated twice to ensure that all players performed the three situations. The coach and the assistants of the data collection activities never gave feedback or interceded providing any instruction, motivation or feedback during the game. They only acted as a referee if there was a very clear foul or clear necessity.

## Instruments

All SSG were recorded using a Panasonic HC-V180 video camera Full HD. The video recordings were processed and analysed using the Lince PLUS software–v.1.2.0-2020- [29] with an instrument adapted to note offensive and defensive game actions [30] (see **Table 1**). The observer was trained for 6 hours under the expertise of a coach from the technical school of the Catalan Federation of Roller Hockey. The intra-observer reliability was calculated, in the form of concordance, by means of Cohen's kappa coefficient, exceeding the value of 0.80, which is considered an adequate agreement [31].

**Table 1.** Individual Technical-Tactical Game Actions.

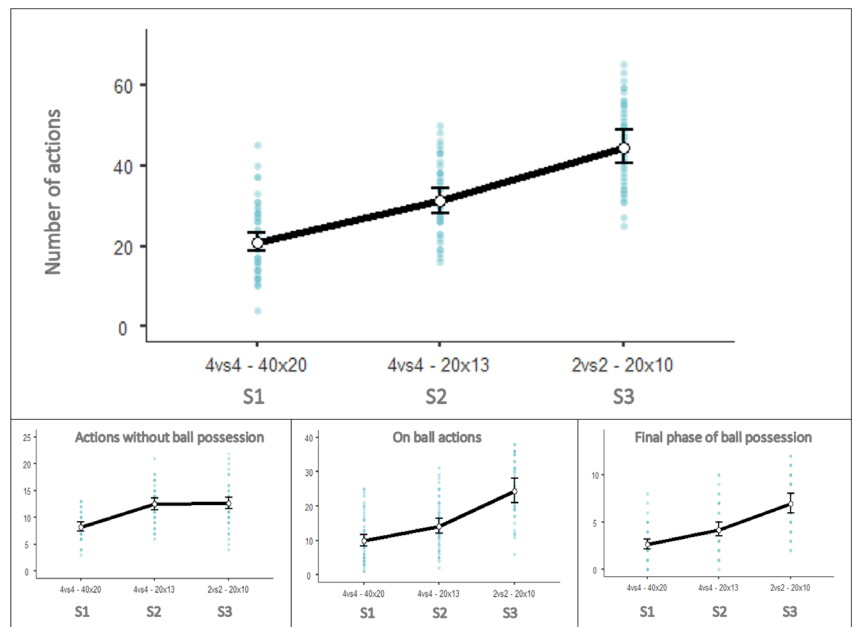
Phase	Action	Description
Actions without ball possession	Marking	Keeping position less than one meter distance from the opponent
	Get unmarked	Trying by means of displacements to obtain a situation and orientation that allows him/her to receive the ball
	Reception Dissuasion	Preventing, hindering or delaying a pass to our direct opponent
	Interception	Cutting the trajectory of the passing line touching the ball.
On ball actions	Reception - Protection	Action performed by the player without the ball at the moment the ball possession is taken and which we relate to the handling and protection of the ball
	Regaining -Recovery	Taking the ball away from our direct opponent by respecting the rules of the game
	Skate with ball	Ball controlled progression
	Harassment	Aims to prevent, delay or hinder the path of progression to our goal from the opponent
	Get unmarked with ball	Overcoming a defender, performing a previous action to deceive him and a subsequent one to take advantage of such deception.
	Body block	Contacting the opponent with the ball to prevent overcoming the defender

Final phase of ball possession	Pass	Transmit the ball to a partner
	Pass Dissuasion	Preventing, hindering or delaying the execution of the player's pass with the ball
	Shoot	Trying to get the ball into the goal by sending it in that direction
	Block	Neutralize the trajectory of a shot in the direction of the goal

Note. Source: Adapted from Lasierra, 2017, p.159.

### Statistical Analysis

The inferential statistical analysis was applied after a descriptive analysis of the individual technical-tactical actions of the hockey game and involved a Generalized Mixed Poisson Model analysis for each dependent variable. This analysis was chosen to count the frequency of occurrence of game actions during a defined time interval because the data could show a higher frequency for some values (i.e., marking) or a rarity of others (i.e., pass dissuasion). Hypothesis testing for each dependent variable, and respective effect sizes -Odds Ratios (expB)- were obtained through the jamovi statistical software (v.I.6.15).



**Figure 2.** Mean Count and 95% Confidence Interval of the total number of actions recorded in the game situations analyzed. Detail of the actions registered into the different phases: actions without ball possession, on-ball actions and final phase of ball possession.

**Table 2.** Post hoc Comparisons - Situation

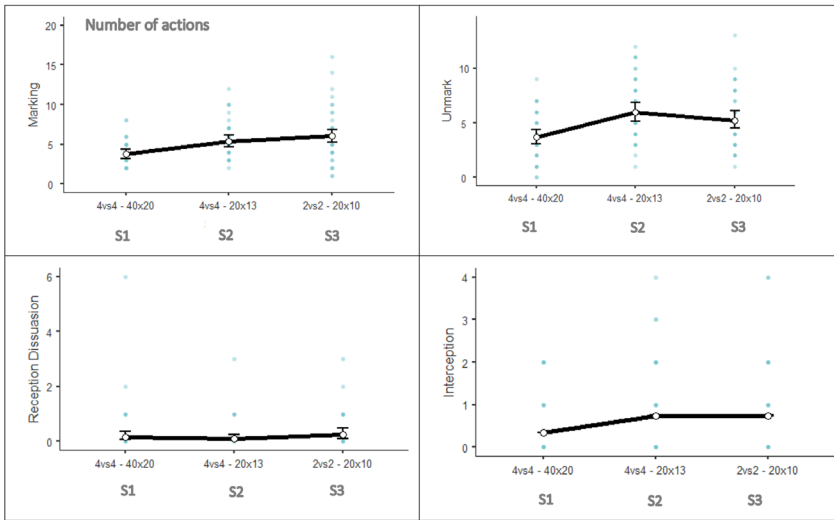
Variable	Situation	Situation <sup>†</sup>	EXP(B)	SE <sup>2</sup>	P <sup>3</sup>
<b>Total Actions</b>	S2 (4vs4 - 20x13)	- S3 (2vs2 - 20x10)	1.43	0.023	< .001
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S3 (2vs2 - 20x10)	2.11	0.018	< .001
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S2 (4vs4 - 20x13)	1.48	0.027	< .001
Marking	S2 (4vs4 - 20x13)	- S3 (2vs2 - 20x10)	1.12	0.076	.174
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S3 (2vs2 - 20x10)	1.59	0.059	< .001
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S2 (4vs4 - 20x13)	1.42	0.068	< .001
Get unmarked	S2 (4vs4 - 20x13)	- S3 (2vs2 - 20x10)	0.88	0.097	.135
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S3 (2vs2 - 20x10)	1.43	0.068	< .001
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S2 (4vs4 - 20x13)	1.62	0.058	< .001
Reception Dissuasion	S2 (4vs4 - 20x13)	- S3 (2vs2 - 20x10)	2.43	0.185	.145
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S3 (2vs2 - 20x10)	1.42	0.266	.514
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S2 (4vs4 - 20x13)	0.58	0.815	.514
Interception	S2 (4vs4 - 20x13)	- S3 (2vs2 - 20x10)	1.00	0.218	1.000
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S3 (2vs2 - 20x10)	2.16	0.127	.015
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S2 (4vs4 - 20x13)	2.16	0.127	.015
<b>Actions without ball possession</b>	S2 (4vs4 - 20x13)	- S3 (2vs2 - 20x10)	1.01	0.057	< .001
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S3 (2vs2 - 20x10)	1.54	0.042	< .001
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S2 (4vs4 - 20x13)	1.52	0.043	< .001
Reception - Protection	S2 (4vs4 - 20x13)	- S3 (2vs2 - 20x10)	1.77	0.051	< .001
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S3 (2vs2 - 20x10)	3.12	0.035	< .001
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S2 (4vs4 - 20x13)	1.76	0.068	< .001
Regaining - Recovery	S2 (4vs4 - 20x13)	- S3 (2vs2 - 20x10)	1.25	0.082	.031
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S3 (2vs2 - 20x10)	2.03	0.058	< .001
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S2 (4vs4 - 20x13)	1.63	0.076	< .001
Skate with ball	S2 (4vs4 - 20x13)	- S3 (2vs2 - 20x10)	2.23	0.051	< .001
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S3 (2vs2 - 20x10)	2.37	0.049	< .001
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S2 (4vs4 - 20x13)	1.07	0.127	.630
Harassment	S2 (4vs4 - 20x13)	- S3 (2vs2 - 20x10)	1.65	0.075	< .001
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S3 (2vs2 - 20x10)	1.82	0.070	< .001
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S2 (4vs4 - 20x13)	1.10	0.127	.481

Variable	Situation	Situation'	EXP(B)	SE <sup>2</sup>	P <sup>3</sup>
Get un- marked with ball	S2 (4vs4 - 20x13)	- S3 (2vs2 - 20x10)	2.00	0.063	< .001
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S3 (2vs2 - 20x10)	2.56	0.054	< .001
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S2 (4vs4 - 20x13)	1.28	0.122	.113
Body Block	S2 (4vs4 - 20x13)	- S3 (2vs2 - 20x10)	1.75	0.109	.004
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S3 (2vs2 - 20x10)	4.17	0.063	< .001
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S2 (4vs4 - 20x13)	2.39	0.117	.004
On ball actions	<b>S2 (4vs4 - 20x13)</b>	<b>- S3 (2vs2 - 20x10)</b>	<b>1.71</b>	<b>0.027</b>	<b>&lt; .001</b>
	<b>S1 (4vs4 - 40x20)</b>	<b>- S3 (2vs2 - 20x10)</b>	<b>2.44</b>	<b>0.022</b>	<b>&lt; .001</b>
	<b>S1 (4vs4 - 40x20)</b>	<b>- S2 (4vs4 - 20x13)</b>	<b>1.42</b>	<b>0.041</b>	<b>&lt; .001</b>
Pass	S2 (4vs4 - 20x13)	- S3 (2vs2 - 20x10)	1.72	0.087	< .001
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S3 (2vs2 - 20x10)	2.14	0.075	< .001
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S2 (4vs4 - 20x13)	1.25	0.143	.211
Pass Dissua- sion	S2 (4vs4 - 20x13)	- S3 (2vs2 - 20x10)	1.28	0.209	.355
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S3 (2vs2 - 20x10)	3.56	0.106	.002
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S2 (4vs4 - 20x13)	2.78	0.140	.017
Shoot	S2 (4vs4 - 20x13)	- S3 (2vs2 - 20x10)	2.03	0.073	< .001
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S3 (2vs2 - 20x10)	2.85	0.058	< .001
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S2 (4vs4 - 20x13)	1.40	0.134	.071
Block	S2 (4vs4 - 20x13)	- S3 (2vs2 - 20x10)	1.21	0.161	.322
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S3 (2vs2 - 20x10)	3.00	0.087	< .001
	S1 (4vs4 - 40x20)	- S2 (4vs4 - 20x13)	2.47	0.109	.001
Final phase of ball possession	<b>S2 (4vs4 - 20x13)</b>	<b>- S3 (2vs2 - 20x10)</b>	<b>1.65</b>	<b>0.053</b>	<b>&lt; .001</b>
	<b>S1 (4vs4 - 40x20)</b>	<b>- S3 (2vs2 - 20x10)</b>	<b>2.62</b>	<b>0.039</b>	<b>&lt; .001</b>
	<b>S1 (4vs4 - 40x20)</b>	<b>- S2 (4vs4 - 20x13)</b>	<b>1.59</b>	<b>0.070</b>	<b>&lt; .001</b>

Note. Reference category for OR [Exp(B)] interpretation; Standard Error; Holm correction significance

## RESULTS

The results (see **Table 2** and **Figure 2**) revealed that the total number of actions were significantly increased in S3 compared to S2 (OR=1.43; < .001), and also compared to S1 (OR=2.11; < .001). S2 yielded higher frequencies of individual technical-tactical behaviors than S1 (OR=1.48; < .001).

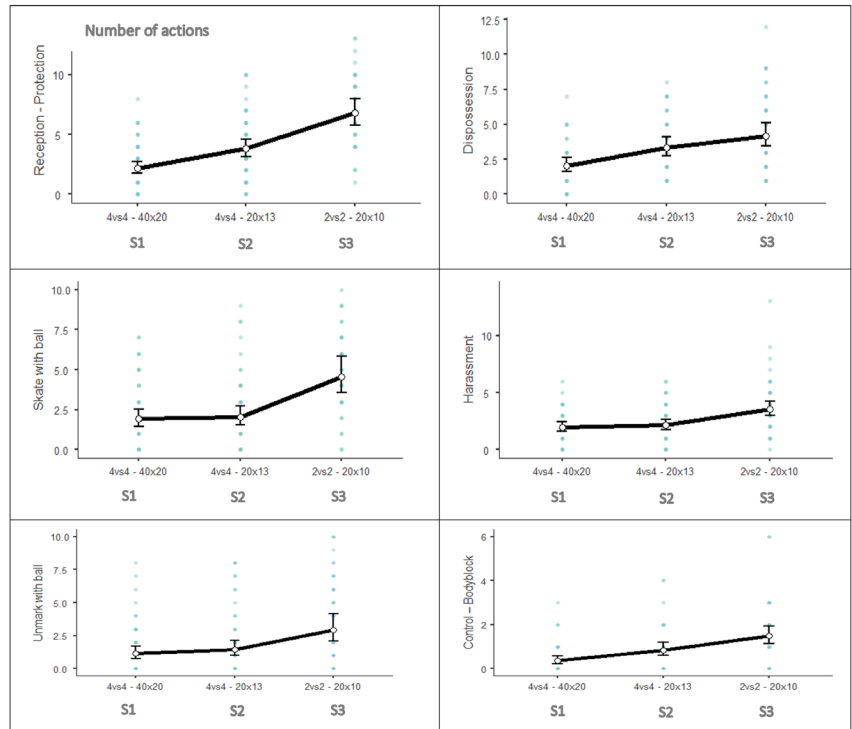


**Figure 3.** Mean Count and 95% Confidence Interval of the technical-tactical actions without ball possession recorded in the game situations analyzed: marking, unmark, reception dissuasion and interception

If we focus on the technical-tactical actions of the players without the ball, the total number of actions were also significantly increased in S2 (OR=1.52; < .001) and S3 (OR=1.54; < .001) maintaining the tendency to enable a greater number of opportunities for action compared to S1, respectively. A more detailed situational analysis (see **Figure 3**) reveals that the behavior related to reception dissuasion does not follow the trend expressed by the set of actions without the ball.

In the analysis of the actions of the on-ball players (see **Figure 4**), we highlight the fact that, in the six actions studied, when comparing S1 with S3 (OR=1.42; < .001), the scaling of the space and reduction of players has a substantial influence. On the other hand, in the case of the relationship between S2 and S3 (OR=1.71; < .001), this tendency is maintained only in the reception and dispossession actions and especially when skating with the ball. Harassment, unmarking with the ball and controlling body block actions do not follow the trend expressed by the situational analysis as a whole as shown in **Figure 4**.

Finally, the results of the analysis of the final ball possession phase (see **Figure 5**) show results in line with those obtained for the actions of the players without the ball, reporting more than twice the number of actions in the case of S3 (OR=2.62; < .001) compared with S1.

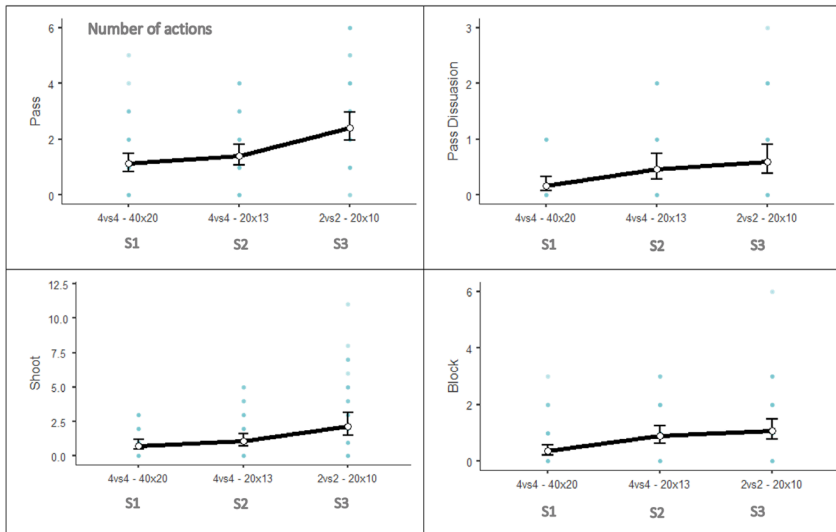


**Figure 4.** Mean Count and 95% Confidence Interval of the technical-tactical on-ball actions recorded in the game situations analyzed: reception-protection, dispossession, skate with ball, harassment, unmark with ball and control-body block.

## DISCUSSION

The aim of the study was to evaluate the effects of the manipulation of the size of the pitch and the number of players on the technical-tactical actions in young U8 rink hockey players. Results showed that both SSGs provided a greater number of opportunities for action than playing following the official rules.

Moreover, the analysis of total frequencies of actions revealed that S3 is shown to be the most stimulating design of the three situations analysed. It was observed that players practiced more than twice some of the actions studied in situation 3 (2I, [18.9 - 23.3] vs. 44.4, [40.4 - 48.9]; mean count & 95% confidence interval) than in situation 1 (S1= 40x20m; 100m<sup>2</sup>/player). These findings suggest that the reduced spaces and the smaller number of players were effective in improving the opportunities to develop technical-tactical actions during the game. Furthermore, we speculate that probably learning occurs under a similar demand of perception-action relationships in the SSG to those required by the real game situation [21].



**Figure 5.** Mean Count and 95% Confidence Interval of the technical-tactical actions of the final phase of ball possession recorded in the game situations analyzed: pass, pass dissuasion, shoot and block.

It could seem obvious that the reduction of the number of players from 4 vs. 4 to 2 vs. 2 players and the playing space from 100m<sup>2</sup> to 50m<sup>2</sup> will increase the number of opportunities for action and therefore the possibilities for learning [32]. However, even the proposal of 4 vs. 4 in a reduced space (20 x 13 m; 32.5m<sup>2</sup>) also yielded higher values of total actions than those observed in S1. With the same number of players, the density with respect to the usual playing space may be the outstanding factor to explain that in only three minutes players performed 50% more actions (21, [18.9 - 23.3] in S1 vs. 31.1, [28.1 - 34.3] in S2; mean count & 95% confidence interval). This proposal can help the athletes to become more autonomous to perceive more and better information, adapt and solve the intrinsic problems that the competition will continuously and dynamically present to them [33].

It should be noted that when we refer to the concept of action, we do not differentiate the infinite ways in which we can carry out each of them. The interaction with the context is the one that will constraint the what, the how and the when, promoting the exploration and creativity of a potential diversity of functional solutions [34].



### *Actions without ball possession*

Regarding the situational analysis of the player's actions when they are not in possession of the ball, both S2 and S3 proposals yield very similar values of (12.49 & 12.64), to the order of 30% more than in the full-field situation (S1=8.22) in mean values of frequency of actions of the players. Less space facilitated the emergence of marking actions. Despite the difference in the number of players, the smaller the space, the higher the mean values of frequency of marking behaviors [S1=3.80; S2=5.38; S3=6.04]. The same did not occur with respect to reception dissuasion and interception actions. Less space did not constrain enough for the emergence of these defensive behaviors. Probably some instructional restrictions (i.e., requiring a nominal individual defence without opponent changes or float marking) would influence more effectively the learning possibilities of these tactical game intentions. The use of the exaggeration principle (by modifying game rules to provoke the exploration of certain player solutions) is part of the application of SSG programs based on nonlinear pedagogy in terms of ecological dynamics [35]. An individual defence is difficult to assume in a space of 40 x 20m. and 25 minutes of play as it must be accompanied by limitations of space and playing time to be effective. Even without this rule, the values of reception dissuasion and especially of interceptions were higher in situations S2 and S3 than in S1.

### *On ball actions*

S3 also facilitated greater opportunities for action with the ball, but with two differences in relation to actions without the ball: a) the difference is significantly greater than before (in the order of three times more in the SSG than in the usual playing space -S1-); b) although in S2, the density of players is higher (32.5m<sup>2</sup>/player) compared to S1 (100m<sup>2</sup>/player) or S3 (50 m<sup>2</sup>/player), S2 yielded values closer to S1 than to S3.

Reducing space and reducing the number of players had the effect of requiring a greater number of interventions with the ball in the reception, handling and protection of the ball, almost three times more than in S1 (see Figure 4). These findings should encourage coaches to use those task constraints, such as reducing the number of players, playing in continuous imbalance of players or with a dynamically changing numerical advantage. Without the need to decompose the tasks, the difficulty of the task can be managed while maintaining informational demands of representative contexts using SSGs [21].

Sliding can be coordinatively more demanding than running, and the handling of an implement increases this difficulty even more. It is probably due to this that a greater number of dispossessions in both SSG games were observed. Even with fewer players, in a more reduced space, there were a greater number of defensive ball recovery actions in S<sub>3</sub>.

With large spaces, harassment appeared to be a functional solution to drive the faster skating opponent into lateral spaces away from the goal. In fact, the data revealed that tight spaces stimulated the defensive actions of harassment.

We were surprised, regarding the body block action, that the highest density proposal (S<sub>2</sub>; 32.5m<sup>2</sup>/player) was not the one that most facilitated the occurrence of using the body as a tool to slow down the player's progression to the target. The data showed that the reduction of space and number of players (S<sub>3</sub>) continued to be more effective than S<sub>2</sub>, which still had higher values than S<sub>1</sub> (see Figure 4).

#### *Final phase of ball possession*

Also, in this phase of the game, the small-sided games offered more affordances for passing, shooting or blocking, up to three times more of S<sub>3</sub> or two times more of S<sub>2</sub> than S<sub>1</sub>. At least at these ages, having much more space, like when they play in S<sub>1</sub>, was not related to generating more throwing opportunities [1].

Pass dissuasion obtained similarly low values as dissuasion of reception. The rules of Ok-XS determine that the goalkeeper initiates the play after the goal, not from the middle of the field. Even so, the children tended to go down to defend their own goal, instead of pressuring the ball out of the box with actions of pass dissuasion or reception dissuasion. This behavior can be a result of the coaches' instructions and the habit of playing following the official rules.

Finally, regarding the shot blocking action, the two Small Sided Games showed similar tendencies.

These results suggest that small-sided games can be an effective tool to be included in the learning process in the initiation of U8 rink hockey. Different configurations of games generated some different tactical behaviors while adapting the physical workload of the young players, too [23].

The Ok-XS Project aims to use a methodological progression based on different SSG in formative stages that prioritize long-term learning over immediate performance. More research is needed to study the effects of manipulating constraints in the long term with longitudinal studies and contribute to narrow the gap between the scientist and the trainers.

The data obtained in the study will be useful in training courses for rink hockey sport Catalan technicians, with the final objective of promoting a revision of the organization of sport initiation in the clubs. Some specific experiences have already been developed with a good reception by parents and players, and we hope that in the future the competition of school sports will use the Ok-XS as an element of training of players. Although this study did not use interviews as an evaluation instrument, some of the comments of the parents of the children involved suggested the positive effects of the intervention. For instance, one of them explained to the main researcher that his son had played the whole year without scoring a goal, while on that day, playing Ok-XS, he scored 5 just in the first period.

As limitations of the study, we consider that it would have been interesting to also analyse the behaviour of each single player in each situation, instead of comparing the mean all the players in the situations studied. We hypothesize that SSG can be useful for the more and the less skilful players, but this hypothesis remains understudied. Future research should explore these paths. The difference between the number of girls and boys participating could also be considered a limitation to be taken into account, although this difference represents the reality of young teams of rink hockey clubs.

## **CONCLUSIONS**

This study has shown evidence that small-sided games are an appropriate methodological tool to improve the affordances of action in young (U8) rink hockey players. The manipulation of task constraints, reducing the game space and number of players yielded a higher number of actions performed and, therefore, of learning opportunities, with respect to the official competition space.

The situations proposed in this study provides the trainees with opportunities to act based on informational aspects of the game, without the intervention of the coach in decision making or reducing

the learning of game actions in a reductionist and decontextualized way. It promotes adaptive behaviors of players to the constant, uncertain and dynamic changes that a game like rink hockey will propose.

This design is oriented to the development of players with great diversity potential to finding creative and functional solutions to the problems of a sport that combines the difficulties of sliding, handling the implement, coordinating with teammates and surprising the opponents.

### **Acknowledgements**

We would like to express our deep gratitude to the young rink hockey players, to Llista Blava and Club Hockey Juneda coaches and managing staff. We are also grateful to the help of Axel Novelles, Carlos Romero, Roger Crusellas and Roger Tarragó for their technical assistance with the video records and the URW setup and first data validation, and of Marc Gisbert from London Rink Hockey Club for reviewing technical terms from instrument collecting data.

This work was supported by the National Institute of Physical Education of Catalonia (INEFC), Generalitat de Catalunya.

### **Conflict of interest declaration.**

The authors declare no conflict of interest.

## REFERENCES

1. Honório, S., Batista, M., Serrano, J., Petrica, J., Martins, J. & Faustino A. A importância do jogo de mini-hóquei em patins nos escalões de benjamins e escolares. *E-Balonmano.com Rev Ciências del Deport.* 2019;15(2):127-134.
2. Atkins SJ. Performance of the yo-yo intermittent recovery test by elite professional and semiprofessional rugby league players. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 2006;20(1):222.
3. Blanco A, Enseñat A, Balagué N. Hockey sobre patines: niveles de frecuencia cardiaca y lactacidemia en competición y entrenamiento. *Apunt Educ Física i Esports.* 1994;(36):26-36.
4. Yagüe PL, Del Valle ME, Egocheaga J, Linnamo V, Fernandez A. The competitive demands of elite male rink hockey. *Biology of Sport.* 2013;30(3):195-199.
5. Buszard T, Reid M, Masters R, Farrow D. Scaling the equipment and play area in children's sport to improve motor skill acquisition: A systematic review. *Sport Medicine.* 2016;46(6):829-843.
6. Limpens V, Buszard T, Shoemaker E, Savelsbergh GJP, Reid M. Scaling constraints in junior tennis: the influence of net height on skilled players' match-play performance. *Res Q Exerc Sport.* 2018;89(1):1-10.
7. Aguiar M, Botelho G, Lago C, Maças V, Sampaio J. A review on the effects of soccer small-sided games. *J Hum Kinet.* 2012;33(1):103-113. doi:10.2478/v10078-012-0049
8. Buszard, T., Garofolini, A., Reid, M., Farrow, D., Oppici, L., & Whiteside D. Scaling sports equipment for children promotes functional movement variability. *Sci Rep.* 2020;10(1):1-8. doi:10.1038/s41598-020-59475-5
9. Devís J, Peiró C. La iniciación en los juegos deportivos: La enseñanza para la comprensión. In: Arboleda R, ed. *Aprendizaje Motor: Elementos Para Una Teoría de La Enseñanza de Las Habilidades Motrices.* Medellín: Funámbulos; 2007:105-129.

10. Ometto L, Vasconcellos FVAA, Cunha FA, et al. How manipulating task constraints in small-sided and conditioned games shapes emergence of individual and collective tactical behaviours in football: A systematic review. *Int J Sport Sci Coach*. 2018;13(6):1200-1214. doi:10.1177/1747954118769183
11. Richard V, Lebeau J, Becker F, Boiangin N, Tenenbaum G. Developing Cognitive and Motor Creativity in Children Through an Exercise Program Using Nonlinear Pedagogy Principles. *Creat Res J*. 2018;30(4):391-401. doi:10.1080/10400419.2018.1530913
12. Kelso J. *Dynamic Patterns: The Self-Organization of Brain and Behavior*. (MIT press, ed.); 1995.
13. Kelso JAS. Synergies: atoms of brain and behavior. In: (eds) SD, ed. *Progress in Motor Control. Advances in Experimental Medicine and Biology*. Springer, Boston, MA; 2009:83-91. doi:https://doi.org/10.1007/978-0-387-77064-2\_5
14. Davids, K., Button C, Bennett S. *Dynamics of Skill Acquisition : A Constraints-Led Approach*. Champaign (Ill.) [etc.] : Human Kinetics; 2008.
15. Newell KM. Constraints on the development of coordination. In: Wade MG, Whiting HTA, eds. *Motor Development in Children: Aspects of Coordination and Control*. Dordrecht, the Netherlands: Martinus Nijhoff; 1986:341-360.
16. Balagué N, Pol R, Torrents C, Ric A, Hristovski R. On the Relatedness and Nestedness of Constraints. *Sport Med - Open*. 2019;5(1):6. doi:10.1186/s40798-019-0178-z
17. Pol, R., Balagué, N., Ric, A., Torrents, C., Kiely, J., & Hristovski R. Training or Synergizing? Complex Systems Principles Change the Understanding of Sport Processes. *Sport Med*. 2020;6(1):1-13.
18. Hristovski, R. & Balagué N. Theory of Cooperative-Competitive Intelligence: Principles, Research Directions, and Applications. *Front Psychol*. 2020;11:2220.

19. Davids K, Araújo D, Correia V, Vilar L. How small-sided and conditioned games enhance acquisition of movement and decision-making skills. *Exerc Sport Sci Rev.* 2013;41(3):154-161. doi:10.1097/JES.0b013e318292f3ec
20. Renshaw I, Chow JY, Davids K, Hammond J. A constraints-led perspective to understanding skill acquisition and game play: a basis for integration of motor learning theory and physical education praxis? *Phys Educ Sport Pedagog.* 2010;15(2):117-137. doi:10.1080/17408980902791586
21. Araujo D, Hristovski R, Passos P, Chow JY. Ecological dynamics and motor learning design in sport. 2004. doi:10.13140/RG.2.1.2297.0089
22. Canton, A., Lacasa, E., Brufau, I., Ensenyat, A. & Torrents C. Hockey Patines "XS": ¿Afecta Sobre la Carga en Iniciación? *Rev Psicol del Deport.* 2020;29(2):124-132.
23. Farrow D, Reid M. The effect of equipment scaling on the skill acquisition of beginning tennis players tennis players. *J Sports Sci.* 2010;28(7):723-732. doi:10.1080/02640411003770238
24. Timmerman E, De Water J, Kachel K, Reid M, Farrow D, Savelsbergh G. The effect of equipment scaling on children's sport performance: the case for tennis. *J Sports Sci.* 2015;33(10):1093-1100.
25. Passos, P., Araújo, D., Davids, K. & Shuttleworth R. NoManipulating Constraints to Train Decision Making in Rugby Union Title. *Int J Sport Sci Coach.* 2008;3(1):125-140.
26. Torrents, C., Ric, A., Hristovski, R., Torres-Ronda, L., Vicente, E., & Sampaio, J. Emergence of Exploratory, Technical and Tactical Behavior in Small-Sided Soccer Games when Manipulating the Number of Teammates and Opponents. *PLOS ONE.* 2016;11(12), e0168866. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168866>
27. Canton, A., Torrents, C., Ric, A., Guerrero, I., Hileno, R., & Hristovski R. Exploratory behavior and the temporal structure of soccer small-sided games to evaluate creativity in children. *Creat Res J.* 2021;33(1):16-25.
28. Davids K, Araujo D, Shuttleworth R, Button C. Acquiring Skill in Sport : A Constraints-Led Perspective. *Int J Comput Sci Sport.* 2003;2(2):31-39.

29. Soto, A., Camerino, O., Iglesias, X., Anguera, M. T., and Castañer M. LINCE PLUS: Research software for behavior video analysis. *Apunt Educ Física y Deport.* 2019;137:149-153. doi: 10.5672/apunts.2014-0983.es.(2019/3).137.11
30. Lasierra G. Balonmano: la relación entre los sistemas de juego, los procedimientos colectivos y su eficacia. 2017. [Doctoral Thesis]. Universitat de Lleida. <https://www.tdx.cat/handle/10803/403463#page=1>.
31. Landis, J. R., & Koch GG. An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. *Biometrics.* 1977:363-374.
32. Clemente, F.; Rocha, R.; Mendes R. Estudo da quantidade de jogadores em jogos reduzidos de andebol: mudança na dinâmica técnica e tática. *Rev Bras Educ Física e Esporte.* 2006;28(1):135-145.
33. Vaughan J, Mallett CJ, Davids K, Potrac P, López-Felip MA. Developing Creativity to Enhance Human Potential in Sport: A Wicked Transdisciplinary Challenge. *Front Psychol.* 2019;10. doi:10.3389/fpsyg.2019.02090
34. Ric A, Hristovski R, Gonçalves B, Torres L, Sampaio J, Torrents C. Timescales for exploratory tactical behaviour in football small-sided games. *J Sports Sci.* 2016;34(18). doi:10.1080/02640414.2015.1136068
35. Práxedes A, Del Villar Álvarez F, Moreno A, Gil-Arias A, Davids K. Effects of a nonlinear pedagogy intervention programme on the emergent tactical behaviours of youth footballers. *Phys Educ Sport Pedagog.* 2019;24(4). doi:10.1080/17408989.2019.1580689





# CAPÍTULO 8

Hockey Patines "XS": ¿Afecta Sobre la Carga en Iniciación?



Canton, A., Lacasa, E., Brufau, I., Ensenyat, A., y Torrents, C. (2020). Hockey Patines "XS": ¿Afecta Sobre la Carga en la Iniciación? *Revista de Psicología del Deporte*, 29(2), 124-132.

## Hockey Patines "XS": ¿Afecta Sobre la Carga en Iniciación?

Albert Canton Badell<sup>1</sup>, Enrique Lacasa Claver<sup>2</sup>, Isidre Brufau<sup>3</sup>, Assumpta Ensenyat<sup>4</sup>, Carlota Torrents<sup>5</sup>

### Resumen

El hockey patines infantil ha mantenido las reglas del deporte adulto y rara vez se ha diseñado para facilitar la condición física en la iniciación. El objetivo del estudio fue explorar los efectos de la variación del tamaño de la cancha y el número de participantes en las variables físicas en la iniciación de hockey sobre patines. Los participantes en el estudio fueron tres jugadoras y 21 jugadores de hockey (edad:  $7.1 \pm 0.4$  años). Se jugaron tres tipos de partidos de 3 minutos, con descansos de 3 minutos, dos veces cada uno: i) Cuatro vs cuatro (más portera/o) en campo oficial (40m x 20m); ii) Cuatro vs cuatro (más portera/o) en un campo que mide 20m x 13m, y iii) Dos vs dos (más portera/o) en un campo que mide 20m x 10m. Se analizaron las variables físicas y fisiológicas de: distancia total recorrida y distancia recorrida en diferentes rangos de velocidad (0-3 km/h, 3-6 km/h, 6-9 km/h, 9-12 km/h, 12-15 km/h y 15-18 km/h), aceleraciones, desaceleraciones, velocidades máximas y medias, frecuencia cardíaca y player load. Se recopiló mediante el uso de un sistema de posicionamiento local (UWB) de 10 Hz y por un cinturón transmisor de frecuencia cardíaca. Los resultados del presente estudio muestran que, en etapas de iniciación de hockey sobre patines, la reducción del tamaño del campo, con o sin reducción en el número de jugadoras/es, también reduce casi todas las variables físicas y fisiológicas, a excepción del player load, que aumenta cuando se reduce campo y número de participantes.

**Palabras clave:** mini-hockey, hockey patines, juegos reducidos, carga interna, carga externa

### Introduction

El hockey patines aún a la complejidad de las características de los deportes de invasión, de implemento y deslizantes. Y ese es tan sólo uno de los motivos que hacen de ésta una práctica tan atractiva como recomendable en la iniciación deportiva. El reglamento de la Federación Internacional de Hockey determina que el juego tiene dos periodos que duran 25 minutos cada uno, aunque el tiempo total -incluyendo descansos- puede llegar hasta los 70 y 80 minutos (Yagüe, Del Valle, Egocheaga, Linnamo y Fernandez, 2013). En los partidos se enfrentan dos equipos de cuatro jugadores/as y un/a portero/a. Se deben usar patines de cuatro ruedas; a diferencia del hockey línea que utiliza patines en línea; el hockey hielo, que calzan patines para hielo; o el hockey, en el que no se llevan patines y se juega sobre hierba.

Son muchas ya las Federaciones internacionales que regulan prácticas, como las del Baloncesto, Fútbol, Fútbol australiano, Fútbol americano o Hockey sobre hielo (Davies, 2018) institucionalizando reglamentos de "mini-deportes" que redimensionan el equipamiento y el área de juego (Buszard, Reid, Masters y Farrow, 2016). En España se cuenta con diversas experiencias exitosas en las que se han incorporado la modalidad "mini" en deportes como el peque vóley, el mini balonmano o versiones adaptadas en tenis (Limpens, Buszard, Shoemaker, Savelsbergh y Reid, 2018), bádminton o pádel (Lacasa et al., 2018) en competiciones deportivas en edad

escolar. La Federación de Patinaje de Portugal, consciente del valor formativo de mini-hockey, está apostando por su

promoción con una serie de iniciativas apoyadas en la investigación científica (Honório et al., 2019). Y consideramos este hecho esencial, puesto que estas modificaciones se han creado, a menudo, sin una justificación científica (Timmerman et al., 2015). La evidencia empírica suele respaldar el redimensionamiento de la pista y del equipamiento de juego como elementos favorecedores del aprendizaje. realizadas en las últimas décadas relacionadas con los juegos reducidos (JRs) (Aguiar, Botelho, Lago, Maças y Sampaio, 2012; Devís y Peiró, 2007; Ometto et al., 2018) y la manipulación de constreñimientos (como el enfoque denominado constraints led approach) (Davids, Button y Bennet, 2008; Renshaw y Chow, 2018; Renshaw, Chow, Davids y Hammond, 2010) lo confirman.

En etapas de formación, las modificaciones que se han propuesto en otros deportes consisten en adaptar el espacio de juego, las alturas o ubicación de porterías o redes, el tamaño y peso de pelotas e implementos, el número de jugadores/as, la duración del juego o los sistemas de puntuación (Jamshad y Praveen, 2017; Timmerman, Farrow y Savelsbergh, 2017). Como Buszard et al. (2016) afirman, la importancia de redimensionar cualquier deporte y adaptarlo a la edad de la práctica es clara y proporciona beneficios lógicos, como son: un aprendizaje de habilidades más rápido, una adopción de patrones de movimiento más coherentes, un mejor desempeño,

<sup>1</sup> Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEFC), Universitat de Lleida, Lleida, Spain. Email: [acanton@inefc.es](mailto:acanton@inefc.es)

<sup>2</sup> Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEFC), Universitat de Lleida, Lleida, Spain.  
Email: [kike.lacasa@gmail.com](mailto:kike.lacasa@gmail.com)

<sup>3</sup> Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEFC), Universitat de Lleida, Lleida, Spain. Email: [ibrufau@xtec.cat](mailto:ibrufau@xtec.cat)

<sup>4</sup> Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEFC), Universitat de Lleida, Lleida, Spain. Email: [aensenat@inefc.udl.cat](mailto:aensenat@inefc.udl.cat)

<sup>5</sup> Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEFC), Universitat de Lleida, Lleida, Spain. Email: [clortentsm@gencat.cat](mailto:clortentsm@gencat.cat)

un aumento en la auto-eficacia y –por último y no menos importante- una mayor implicación y motivación por la práctica. Por ejemplo, una niña es proporcionalmente diferente a una mujer adulta, tiene menos fuerza, variaciones en el centro de masas, su adaptación fisiológica es distinta, y por ello el espacio o el equipamiento reglamentario del juego adulto no le va a facilitar el aprendizaje de muchos aspectos que necesitará cuando crezca. Estas adaptaciones brindarán un efecto positivo en la experiencia de aprendizaje, la motivación, la participación y el rendimiento en la infancia (Timmerman et al., 2015). La revisión sistemática de Halouani et al. (2014) sobre JR en deportes colectivos confirma la necesidad de modificar espacio y número de jugadores para incidir sobre aspectos fisiológicos, técnicos y tácticos del/a jugador/a. A la vez nos alerta acerca de la necesidad de que las/los formadoras/es comprendamos las cargas que van a emerger de estas nuevas interacciones para diseñar escenarios de aprendizaje coherentes.

Para realizar las adaptaciones más pertinentes, las mediciones de diferentes parámetros fisiológicos permitirán comprender mejor las demandas de la competición y mejorar los diseños de los contextos de aprendizaje y entrenamiento (Castillo, Weston, McLaren, Cámara y Yanci, 2017). Estudios previos constatan que el hockey incluye períodos de actividad física y recuperación intercalados con breves períodos de sprints múltiples (Atkins, 2006; Blanco, Enseñat y Balagué, 1993; Castagna, Impellizzeri, Chamari, Carlomagno y Rampinini, 2006; Yagüe et al., 2013). Por lo tanto, la carga de trabajo es intermitente y la duración y la intensidad del trabajo y el tiempo de las pausas son variados (Blanco et al., 1993; Léger y Lambert, 1982). Según Valente-dos-santos et al. (2013), en un análisis de partidos de hockey patines en hombres adultos (23.4 ± 2.1 años) realizado por Kingman y Dyson en 1997, reveló acciones intermitentes de alta intensidad y estimó una distancia total de patinaje de 16 km. La literatura científica sobre los requisitos energéticos del hockey sobre patines en etapas de formación es aún limitada. Sin embargo, sí existen estudios de hockey patines que, aunque no sean en contexto de competición, aportan datos sobre la importancia de trabajar predominantemente con patines para mejorar la velocidad (Arboix-Alió, Aguilera-Castells y Ferrándiz, 2017) y la resistencia (Arboix-Alió, Castells y Bernal, 2016).

Generalmente, en los deportes, las cargas de entrenamiento y las cargas de partidos impuestas a los/las deportistas se expresan a través de componentes de carga externa (demandas físicas, como la distancia recorrida, distancia a ciertas velocidades, aceleraciones, etc.) y componentes de carga interna (demandas fisiológicas, como la frecuencia cardíaca (FC) y los índices del esfuerzo percibido (RPE) (Blanco, Enseñat y Balagué, 1994; Castellano, Casamichana y Dellal, 2013; Castillo et al., 2017).

Una forma de valorar la carga externa que nos resulta interesante para los objetivos de este estudio es la conocida como player load. Este parámetro consiste en un vector de magnitud que representa la suma de las aceleraciones en los tres

ejes principales de movimiento (Castellano, Casamichana y Dellal, 2013; Castillo et al., 2017). Numerosos estudios encuentran adecuado el uso de este parámetro por su correlación con la percepción subjetiva del esfuerzo (PSE) (Casamichana, Castellano, Calleja-Gonzalez, San Román y Castagna, 2013), con la FC y el lactato en sangre (Montgomery, Pyne y Minahan, 2010). Esto sugiere que la acelerometría puede ser una herramienta viable para realizar un seguimiento de los cambios de actividad durante el ejercicio (Boyd, Ball y Aughey, 2011; Montgomery et al., 2010).

El objetivo de este estudio es analizar las consecuencias físicas y fisiológicas que emergen de la modificación de las medidas de la pista y del número de jugadoras/es en el hockey patines en categoría pre benjamín. Para tal fin, estudiamos los efectos sobre las variables físicas de carga externa (distancia recorrida total y distancias recorridas por los jugadores en diferentes rangos de velocidad) e internas/fisiológicas (ritmo cardíaco expresado con la mediana, el valor mínimo y más elevado del intervalo R-R – tiempo, en milisegundos, que transcurre entre un latido cardíaco y el siguiente -y suma de latidos), a partir de la modificación del tamaño del campo, el número de compañeros/as y adversarios/as, y las diferentes áreas de juego individuales. La hipótesis de partida es que la disminución del espacio y número de jugadores/as modificará la carga interna y externa en la iniciación al hockey patines. Concretamente, hipotetizamos que las distancias totales recorridas y distancias recorridas a alta velocidad serán menores en espacios más reducidos; que el player load será mayor en una situación de 2 vs. 2, y que una situación jugada en un espacio de juego mucho menor al reglamentario se caracterizará por una mayor carga cardíaca.

## Método

### Participantes

Participaron en el estudio tres jugadoras y 21 jugadores de hockey de dos clubes diferentes ( $M = 7.1$  años,  $DE = 0.4$ ). Tenían una experiencia de más de tres años jugando a hockey patines y entrenaban dos días a la semana (alrededor de 75 minutos por sesión de entrenamiento). Los/as porteros/as también participaron en el protocolo, pero fueron excluidos/as del análisis de datos debido a su dinámica de juego, diferente a la de los jugadores de campo (Coutinho et al., 2018). Todos los participantes fueron informados sobre los procedimientos de investigación y un padre/madre o un/a representante legalmente autorizado proporcionaron un consentimiento informado previo. El protocolo del estudio se ajustó a las recomendaciones de la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el Comité de Ética de investigaciones clínicas de la Administración Deportiva de Cataluña (09-2018-CEICGC).

### Procedimiento

Se jugaron diferentes tipos de situaciones de juego (dos veces cada una por jugador) que consistieron en: situación 1 (S1): Cuatro jugadoras/es de campo del equipo A contra cuatro

jugadoras/es de campo del equipo B (más porteros) en un tamaño de campo oficial (40 m x 20 m; 800 m<sup>2</sup>, área de juego de 100 m<sup>2</sup> por jugador); situación 2 (S2): Cuatro jugadoras/es de campo del equipo A contra cuatro jugadoras/es de campo del equipo B (más porteros) en un campo de 20m x 13m (260 m<sup>2</sup>, área de juego de 32.5 m<sup>2</sup> por jugador); y situación 3 (S3): Dos jugadoras/es de campo del equipo A contra dos jugadoras/es de campo del equipo B (más porteros) en un tamaño de campo de 20m x 10m (200 m<sup>2</sup>, área de juego de 50 m<sup>2</sup> por jugador). Es decir, la S2 es la que va a ser más exigente

en la relación espacio-jugador. Las situaciones se jugaron en tres días diferentes y siguieron el siguiente orden: S3+S3+S2+S1+S1+S2+S3+S3. Las medidas del campo fueron seleccionadas para cada situación atendiendo a los criterios del entrenador experto y cogiendo como ejemplo a otros deportes como el mini balonmano. Cada situación duró tres minutos con periodos de tres minutos de descanso entre ellas (Ric et al., 2016; Torres-Ronda et al., 2015).

**Recogida de datos**

**Tabla 1**

*Inferencias de las variables físicas (carga externa) individuales según situaciones de juego*

Variables	Situaciones			Diferencia de las medias (en bruto; (90% IC) e incertidumbre en las verdaderas diferencias		
	S1	S2	S3	S1 vs S2	S1 vs S3	S2 vs S3
	(n=48)	(n=48)	(n=32)			
	<i>M (DE)</i>	<i>M (DE)</i>	<i>M (DE)</i>	<i>M<sub>diff</sub> (IC)</i>	<i>M<sub>diff</sub> (IC)</i>	<i>M<sub>diff</sub> (IC)</i>
Distancia total (m)	361.3 (58.1)	256 (50.9)	285.3 (34.8)	-105.3; (9) lo más probable ↓	-78.4; (12.3) lo más probable ↓	35.2; (11) lo más probable ↑
Distancia_0_3 km/h (m)	25.8 (39.2)	34.5 (34.7)	18.3 (4.1)	8.7; (4.2) probable ↑	7.5; (1.4) muy probable ↑	-3.3; (1.9) lo más probable trivial
Distancia_3_6 km/h (m)	68.3 (39.1)	86.6 (22.9)	77 (15.3)	18.3; (7.6) lo más probable ↑	23; (5.7) lo más probable ↑	-4.8; (6.1) posible ↓
Distancia_6_9 km/h (m)	93.9 (26.8)	87 (33.5)	108.9 (22.2)	-7; (8) posible ↓	10.8; (8.3) probable ↑	12.8; (8.7) probable ↑
Distancia_9_12 km/h (m)	93.5 (42.4)	40.1 (27.8)	65.8 (28.1)	-53.4; (9.6) lo más probable ↓	-43.4; (11.6) lo más probable ↓	23.8; (10) lo más probable ↑
Distancia_12_15 km/h (m)	60.4 (39.5)	7.3 (11.2)	14.6 (12.4)	-53.1; (8.4) lo más probable ↓	-56.3; (9.9) lo más probable ↓	6.7; (4.4) probable ↑
Distancia_15_18 km/h (m)	17.4 (18.9)	0.6 (2.2)	0.7 (2.2)	-16.9; (4.6) lo más probable ↓	-18.4; (5.9) lo más probable ↓	0; (1.1) lo más probable trivial
Número de aceleraciones	34.7 (30.8)	35.6 (30.8)	30.3 (16.4)	0.9; (1.6) lo más probable trivial	6.1; (1.7) probable ↑	5.5; (1.8) posible ↑
Número de desaceleraciones	34.7 (30.6)	35.6 (30.8)	30 (16)	0.9; (1.5) lo más probable trivial	5.6; (1.6) posible ↑	5; (1.6) posible ↑
Velocidad máxima (km/h)	15.8 (1.8)	12.5 (1.9)	13.5 (1.5)	-3.3; (0.5) lo más probable ↓	-2.5; (0.4) lo más probable ↓	1; (0.5) muy probable ↑
Velocidad media (km/h)	7.1 (1.5)	5.1 (1)	5.9 (0.6)	-2; (0.2) lo más probable ↓	-1.8; (0.2) lo más probable ↓	0.6; (0.2) muy probable ↑
Player Load (u.a.)	2.4 (0.4)	2.2 (0.3)	2.6 (0.4)	-0.2; (0.1) lo más probable ↓	0.2; (0.1) muy probable ↑	0.4; (0.1) lo más probable ↑

**Nota:** Los datos son presentados como medias (DE, las diferencias entre medias (en bruto con (90% de intervalos de confianza) y la incertidumbre en las verdaderas diferencias. Abreviaturas: ↓ = disminuye; ↑ = incrementa; m = metros; IC = intervalo de confianza; S1: situación 1 (campo 40x20 m, 4 contra 4); S2: situación 2 (campo 20x13 m, 4 contra 4); S3: situación 3 (campo 20x10 m, 2 contra 2).n = 24 participantes por dos repeticiones de cada situación (n S1 = 48; n S2 = 48; n S3 = 32).

La distancia total recorrida y la distancia recorrida en diferentes rangos de velocidad (0-3 km/h, 3-6 km/h, 6-9 km/h, 9-12 km/h, 12-15 km/h y 15-18 km/h), las aceleraciones, desaceleraciones, velocidades máximas y medias y la carga del jugador/a (player load) se obtuvieron mediante el uso de un sistema de posicionamiento local de 10 Hz en la banda de radiofrecuencia ultra ancha (UWB) (WIMU PROTM, RealTrack Systems, Almería, España). Se escogió esta opción debido a su mayor

precisión y confiabilidad intra- e inter-unidades con respecto al sistema basado en GPS (Bastida, Gómez, De la Cruz y Pino, 2018). A pesar de que en la literatura se observan rangos mayores a los 3 km/h (Abade, Gonçalves, Leite y Sampaio, 2014; Coutinho et al., 2018; Folgado, Duarte, Marques y Sampaio, 2015), se determinaron rangos de 3 en 3 km/h debido a las características de los participantes y los constreñimientos espaciales, con la intención de obtener una mayor precisión del

registro de los datos. Los latidos cardíacos fueron capturados por una cinta torácica transmisora (WIMU PROTM, RealTrack Systems, Almería, España) y se almacenaron los datos del intervalo de tiempo que pasa de una contracción ventricular (latido) a la siguiente (R-R) en milisegundos. Posteriormente, a partir de la serie de datos obtenida se determinaron las variables de estudio siguientes: mediana del intervalo R-R (ms), valor mínimo (R-R mínimo, ms), valor más elevado (R-R pico, ms) y suma de latidos.

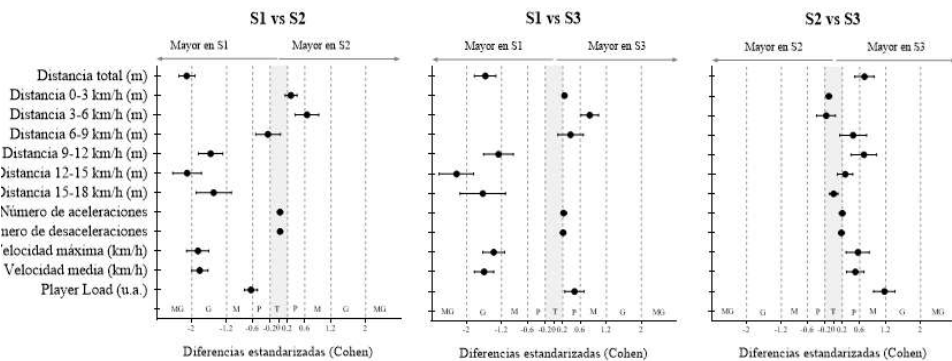
**Análisis de los datos**

Las inferencias basadas en la magnitud y la precisión de la estimación se aplicaron al análisis inferencial (Batterham y Hopkins, 2006; Wilkinson y Winter, 2018). Se realizó un análisis descriptivo utilizando la media y las desviaciones estándar para cada variable. Las diferencias en las medias entre las situaciones de juego se expresaron en datos sin procesar con un límite de confianza del 90%. Se informó que el efecto no estaba claro si el límite de confianza (LC) se superponía a los

umbrales para los cambios más pequeños y valiosos, que se calcularon a partir de las unidades estandarizadas multiplicadas por 0.2. Las magnitudes de los efectos claros se describieron de acuerdo con la siguiente escala: 25-75%, posible; 75-95%, probable; 95-99%, muy probable; > 99%, lo más probable. Además, las comparaciones dentro de las situaciones de juego se evaluaron mediante las diferencias de Cohen estandarizadas (SES) (Cohen, 1988) y el 90% respectivo de LC. Los umbrales para las estadísticas de tamaño del efecto fueron: <0.2, trivial; 0.2-0.6, pequeño; 0.6-1.2, moderado; 1.2-2.0, grande; > 2.0, muy grande.

**Resultados**

La tabla 1 y la figura 1 presentan los resultados inferenciales (descriptivos y cualitativos, respectivamente) para las variables físicas (carga externa) e individuales en las diferentes comparaciones entre situaciones de juego que se han tenido en cuenta.



**Figura 1.** Diferencias estandarizadas (Cohen) en las variables físicas (carga externa) individuales según las situaciones de juego. Las barras de error indican incertidumbre en los cambios medios con intervalos de confianza del 90%. Abreviaturas: T = Trivial; P = Pequeño; M = Mediano; G = Grande; MG = Muy Grande.

Los registros (conjunto de datos jugador/situación) de las series de datos de los intervalos R-R contenían entre 241 y 575 datos (intervalos R-R). Se descartaron siete registros por motivos técnicos. En total se obtuvieron y analizaron

110 registros (R-R) que correspondían a los/as distintos jugadores/as y situaciones jugadas.

En la tabla 2 se muestran los datos de la evolución del ritmo cardíaco (intervalos R-R) en las diferentes situaciones de juego analizadas. El ritmo cardíaco se mantuvo entre los 190 lpm (R-R = 315.6 ms) y los 112 lpm (R-R = 533.4 ms).

Los datos muestran que S3 se caracteriza por una mayor carga cardiaca con intervalos R-R menores (mayor ritmo cardíaco) y la suma total de latidos durante el juego son superiores en comparación con las situaciones S1 y S2 (SES = 0.5 y 0.9, para S3 vs S1 i S3 vs S2 respectivamente). Mientras que la situación 2 se caracteriza por una carga cardiaca menor con

intervalos R-R mayores (menor ritmo cardíaco) y una suma total de latidos durante el juego inferiores en comparación con las situaciones 1 y 3 (SES = 0.6 y 0.9, para S1 vs S2 y S3 vs S2 respectivamente).

**Discusión**

El objetivo de este estudio fue el de analizar las consecuencias físicas y fisiológicas de la modificación de las medidas del campo de juego y del número de jugadoras/es en el hockey patines. La hipótesis de partida se ve confirmada y a continuación se detallan los cambios en las variables analizadas. En este estudio se observa como la reducción del espacio y/o del número de participantes afecta la distancia total recorrida. Cuando se reduce el espacio y no el número de jugadores, la distancia total recorrida disminuye. En cambio, cuando se reduce el



espacio y el número de jugadores, la distancia total recorrida disminuye en relación al campo grande (S1), pero no en relación al campo mediano (S2), debido al cambio de densidad de jugadores. Estos resultados relacionados con las distancias totales recorridas concuerdan, a pesar de la diferencia de la edad de la muestra, con los encontrados por Castellano, Casamichana y Dellal (2013) en fútbol en los que se modificó el número de jugadores en diferentes situaciones de juego y fue en las situaciones con mayor densidad las que mostraron una menor distancia recorrida; o con los encontrados por Aguiar, Botelho, Lago, Maças y Sampaio

(2012) en los que en la situación más reducida en número de jugadores de las cuatro que propone se recorrió menos distancia. Otro estudio que concuerda con los resultados de distancia total recorrida obtenidos en el presente es el de Malone y Collins (2017), el cual, tras realizar tres situaciones de juego de Hurling en las que se modifica el área de juego se observa cómo se recorren menores distancias en los escenarios de menor área. Un estudio en balonmano realizado por Corvino, Tessitore, Minganti y Sibila (2014) muestra también la misma dinámica. En este caso, la distancia total recorrida también incrementó cuando lo hacía la medida del campo.

**Tabla 2**

*Inferencias de las variables fisiológicas (carga interna) individuales según situaciones de juego*

Variables	Situaciones			Diferencia de las medias (en bruto; (90% IC) e incertidumbre en las verdaderas diferencias		
	S1 (n=44)	S2 (n=43)	S3 (n=27)	S1 vs S2	S1 vs S3	S2 vs S3
	<i>M (DE)</i>	<i>M (DE)</i>	<i>M (DE)</i>	<i>M<sub>dif</sub> (IC)</i>	<i>M<sub>dif</sub> (IC)</i>	<i>M<sub>dif</sub> (IC)</i>
R-R media (ms)	361±29.7	372.5±22.7	346.1±28.4	14.7; ±3.8 lo más probable ↑	-12.2; ±8.5 probable ↓	-28.5; ±8.2 lo más probable ↓
R-R mínimo (ms)	315.6±20.6	329.1±23.6	314.4±23.7	11.9; ±4.5 lo más probable ↑	-1.9; ±7.7 poco claro	-17.8; ±7.3 lo más probable ↓
R-R pico (ms)	533.4±128	501.3±105	528.8±132.3	-21.4; ±20 posible ↓	13.6; ±55.9 poco claro	28.4; ±59.5 poco claro
Suma de latidos (número)	488.1±56.4	476.2±40.9	514.7±41.2	-17.6; ±5.4 muy probable ↓	22; ±13.7 probable ↑	38.5; ±12 lo más probable ↑

**Nota:** Los datos son presentados como medias (DE, las diferencias entre medias (en transformación logarítmica (90% de intervalos de confianza) y la incertidumbre en las verdaderas diferencias. Abreviaturas: ↓ = disminuye; ↑ = incrementa; m = metros; IC = intervalo de confianza; R-R: intervalo R-R; S1: situación 1 (campo 40x20 m, 4 contra 4); S2: situación 2 (campo 20x13 m, 4 contra 4); S3: situación 3 (campo 20x10 m, 2 contra 2). n = 24 participantes por dos repeticiones de cada situación (n S1 = 48; n S2 = 48; n S3 = 32).

Además, en las situaciones reducidas (S2 y S3) se recorre una mayor distancia a velocidades menores y una distancia menor a velocidades mayores. Por ejemplo, en S2 y S3 se recorrieron 86.6 y 77 metros de media respectivamente en el rango 3-6 km/h mostrando distancias mayores a bajas velocidades que las que se mostraron en S1 (i.e. 60.4 km/h), mientras que en el rango de 12-15 km/h ocurrió lo contrario, es decir, los jugadores y jugadoras en S2 y S3 recorrieron menos distancia a la velocidad mencionada (ver tabla 1 para más detalle). Esto ocurre debido a la mayor densidad de jugadoras/es (Praça et al. 2018). En la misma línea se muestran los resultados de Castagna, D'Ottavio, Cappelli y Cristina (2019), los cuales encontraron que en jugadores de fútbol, en situaciones de JRs de diferentes densidades (300, 200 y 100 m<sup>2</sup> por jugador) los jugadores recorrían mayores distancias y a mayores velocidades (i.e. velocidad ≥ 16 km·h<sup>-1</sup>) cuando la densidad era superior y viceversa. Por lo tanto, se observa como una mayor congestión de jugadores/as les/las obliga a reducir sus velocidades.

Se observa también que las velocidades máximas y medias se reducen de una situación reglamentaria (S1) a cualquiera de las otras dos reducidas en tamaño o tamaño y participantes (S2 y S3).

Finalmente, en relación al player load, éste se reduce de la S1 a la S2, pero en cambio aumenta con bastante claridad de la S1 a la S3. Posiblemente, este aumento considerable en el player load de la S1 a la S3 se deba principalmente a la reducción en el número de jugadores, ya que en una situación de 2vs2 se promueve el marcaje individual y este tipo de marcaje puede aumentar los valores de esta variable (Casamichana, San Román-Quintana, Castellano y Calleja-González, 2015). Si tenemos en cuenta que el player load es la suma de las aceleraciones en los tres ejes, observamos como el resultado del player load concuerda con el alto número de aceleraciones en la situación más reducida (S3), con diferencias triviales respecto a la S1. Consideramos que el player load (Casamichana et al., 2013; Hill-Haas, Coutts, Dawson y Rowsell, 2010; Mallo y Navarro, 2008) es una variable muy importante en el hockey

patines, incluso más que la velocidad máxima (Yagüe et al., 2013), ya que la exigencia del juego requiere más cambios de ritmo y de dirección que no velocidades máximas en largas distancias.

Los datos de la carga cardíaca observados en este estudio corroboran que en situaciones en las que el número de jugadores se mantiene estable (4vs4) pero se reduce el espacio de que disponen (m2) se produce una disminución de la carga externa que se refleja en una menor carga cardíaca (menor ritmo cardíaco y menor suma de latidos). Estos datos coinciden con los aportados por Dellal, Jannault, Lopez-Segovia y Pialoux, (2011) en jugadores de fútbol, los cuales observaron que cuantos menos m2 por jugador, menor era también la demanda fisiológica para estos jugadores, aunque en ese caso los jugadores eran futbolistas adolescentes y la metodología de análisis fue distinta.

Por el contrario, si la reducción del espacio se asocia también a una reducción del número de jugadoras/es (2vs2), parece que la situación de juego favorece la intensidad física (como se aprecia en la player load) y emocional del esfuerzo, repercutiendo por ambas vías en la carga cardíaca.

Sin embargo, somos conscientes de las limitaciones de los datos presentados en este estudio ya que ni el ritmo cardíaco medio, ni la suma de latidos aportan información sobre la evolución temporal de la respuesta dinámica de la adaptación cardíaca. La suma de latidos se considera como un indicador de la carga cardíaca global, pero no informa de si ésta se ha producido de forma homogénea en el transcurso del tiempo, o, por el contrario, si se han producido momentos de gran carga fisiológica y otros de menor. Por otro lado, los valores medios de ritmo cardíaco reducen los datos a un valor de tendencia central que tampoco considera la relación temporal entre la evolución de la situación jugada y el ritmo cardíaco. A pesar de que los deportes de equipo se caracterizan por la alternancia de periodos de trabajo y recuperación de duración e intensidad variables, la mayoría de los estudios que analizan la carga

cardíaca se basan en datos del ritmo cardíaco medio o en el tiempo que permanecen en distintas zonas de intensidad. En nuestra opinión, en el futuro, el análisis de la respuesta de ritmo cardíaco también debería incluir otros indicadores que tengan en consideración esa relación temporal (Captur, Karperien, Hughes, Francis y Moon, 2017; Goldberger et al., 2000)

Otros estudios han encontrado que los JRs jugados en campos grandes son más intensos que aquellos jugados en campos pequeños (Owen, Twist y Ford, 2004; Rampinini et al., 2007), mientras que otros autores no reportaron diferencias significativas en la intensidad del trabajo según el tamaño del campo (Kelly y Drust, 2009). Aun así, algunos estudios sí han encontrado que los JRs jugados en campos pequeños son más intensos (Tessitore, Meeusen, Piacentini, Demarie y Capranica, 2006).

El conjunto de resultados –a excepción del player load– muestran que, en el hockey sobre patines de categoría pre benjamín, la reducción del tamaño del campo también reduce casi todas las variables físicas y fisiológicas. Sin embargo, el player load aumenta cuando se reduce el espacio y se juega en situación de 2 contra 2. Esta variable, que incluye las aceleraciones junto con las desaceleraciones, es muy importante en el hockey sobre patines, más que la velocidad máxima, porque son más exigentes energéticamente que la velocidad constante, y porque son decisivas en el hockey adulto profesional. También la carga cardíaca parece aumentar en este tipo de situaciones, posiblemente relacionado con el aumento del player load. Por lo tanto, la reducción del tamaño del campo y del número de participantes permitiría entrenar las aceleraciones en los tres ejes, aunque aumentaría la carga cardíaca.

Sería interesante realizar investigaciones futuras que continúen indagando sobre los efectos de escalar tanto el tamaño de la cancha, como también la cantidad de participantes, sobre las demandas técnicas y tácticas de jugadoras/es pre benjamines de hockey sobre patines.

## Hockey Patines "XS": ¿Afecta Sobre la Carga en Iniciación?

### Abstract

Roller hockey has respected adult rules and has rarely been engineered to facilitate physical fitness of young children. The aim of the study was to explore the effects of the variation of pitch-size and the number of players on physical variables in young roller hockey players. The participants in the study were three female and 21 male hockey players (age:  $7.1 \pm 0.4$  years). Three types of matches of 3 minutes, plus 3 minutes of resting, were played twice: i) Four vs four field players (plus goalkeeper) in an official field size (40m x 20m); ii) Four vs four field players (plus goalkeeper) in a field measuring 20m x 13m, and iii) Two vs two field players (plus goalkeeper) in a field measuring 20m x 10m. The physical and physiological variables analysed were: total distance covered and distance covered at different speed ranges (0-3 km/h, 3-6 km/h, 6-9 km/h, 9-12 km/h, 12-15 km/h and 15-18 km/h), accelerations, decelerations, maximum and mean speeds, heart rate and player load. They were gathered through the use of a 10 Hz non-differential local positioning system (UWB) and a heart rate transmitter belt. The results of this study show that, in early stages of roller hockey the reduction in field size, with or without reduction in the number of players, also reduces almost all physical and physiological variables, with the exception of player load (increased when the pitch and the number of players were reduced).

**Keywords:** mini-hockey, roller hockey, small-sided games, internal workload, external workload

## Referencias

- Abade, E. A., Gonçalves, B. V., Leite, N. M. y Sampaio, J. E. (2014). Time-motion and physiological profile of football training sessions performed by under-15, under-17, and under-19 elite portuguese players. *International Journal of Sports* 129 Revista de Psicología del Deporte/Journal of Sport Psychology. Vol. 29. 2020, Suppl 2



- Physiology and Performance*, 9(3), 463–470. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2013-0120C>
- Aguiar, M., Botelho, G., Lago, C., Maças, V. y Sampaio, J. (2012). A review on the effects of soccer small-sided games. *Journal of Human Kinetics*, 33(1), 103–113. <https://doi.org/10.2478/v10078-012-0049-x>
- Arboix-Alió, J., Aguilera-Castells, J. y Ferrándiz, C. (2017). Roller hockey: correlative study about the speed capacity with and without skates. *Revista Internacional de Deportes Colectivos*, 31, 18–31.
- Arboix-Alió, J., Castells, J. A. y Bernal, C. F. (2016). Resistencia Aeróbica en Hockey Patines: Análisis Comparativo del Rendimiento Deportivo Efectuado con y sin Patines. *Red: Revista de Entrenamiento Deportivo*, 30(3), 3–11.
- Atkins, S. J. (2006). Performance of the yo-yo intermittent recovery test by elite professional and semiprofessional rugby league players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(1), 222.
- Bastida, A., Gómez, C. D., De la Cruz, E. y Pino, J. (2018). Accuracy, intra- and inter-unit reliability, and comparison between GPS and UWB-based position-tracking systems used for time – motion analyses in soccer analyses in soccer. *European Journal of Sport Science*, 1391.
- Batterham, A. M. y Hopkins, W. G. (2006). Making meaningful inferences about magnitudes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(1), 50–57. <https://doi.org/10.1123/ijsp.1.1.50>
- Blanco, A., Enseñat, A. y Serre, N. B. (1993). Hockey sobre patines: análisis de la actividad competitiva. *Red: Revista de Entrenamiento Deportivo*, 7(3), 9–17.
- Blanco, A. Enseñat, A. y Balagué, N. (1994). Hockey sobre patines: niveles de frecuencia cardiaca y lactacidemia en competición y entrenamiento. *Apunts: Educació Física i Esports*, 1994(36), 26–36.
- Boyd, L. J., Ball, K. y Aughey, R. J. (2011). The Reliability of MinimaxX Accelerometers for Measuring Physical Activity in Australian Football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(3), 311–321.
- Burr, J. F., Jamnik, R. K., Baker, J., Macpherson, A., Gledhill, N. y McGuire, E. J. (2008). Relationship of physical fitness test results and hockey playing potential in elite-level ice hockey players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(5), 1535–1543.
- Buszard, T., Reid, M., Masters, R. y Farrow, D. (2016). Scaling the equipment and play area in children's sport to improve motor skill acquisition: A systematic review. *Sports Medicine*, 46(6), 829–843.
- Captur, G., Karperien, A. L., Hughes, A. D., Francis, D. P. y Moon, J. C. (2017). The fractal heart—embracing mathematics in the cardiologic clinic. *Nature Reviews Cardiology*, 14(1), 56–64.
- Casamichana, D., Castellano, J., Calleja-Gonzalez, J., San Román, J. y Castagna, C. (2013). Relationship between indicators of training load in soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(2), 369–374.
- Casamichana, D., San Román-Quintana, J., Castellano, J. y Calleja-González, J. (2015). Influence of the type of marking and the number of players on physiological and physical demands during sided games in soccer. *Journal of human kinetics*, 47(1), 259–268.
- Castagna, C., D'Ottavio, S., Cappelli, S. y Araújo-Póvoas, S. C. A. (2019). The Effects of Long Sprint Ability Oriented Small-Sided Games Using Different Players-to-Pitch Area on Internal and External Load in Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1–23.
- Castagna, C., Impellizzeri, F. M., Chamari, K., Carlomagno, D. y Rampinini, E. (2006). Aerobic fitness and yo-yo continuous and intermittent tests performances in soccer players: a correlation study. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(2), 320–325.
- Castellano, J., Casamichana, D. y Dellal, A. (2013). Influence of Game Format and Number of Players on Heart Rate Responses and Physical Demands in Small-Sided Soccer Games. *Journal Of Strength and Conditioning Research*, 27(5), 1295–1303.
- Castillo, D., Weston, M., McLaren, S. J., Cámara, J. y Yanci, J. (2017). Relationships Between Internal and External Match Load Indicators in Soccer Match Officials. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(7), 922–927.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Abingdon, England: Routledge.
- Corvino, M., Tessitore, A., Minganti, C. y Sibila, M. (2014). Effect of court dimensions on players' external and internal load during small-sided handball games. *Journal of Sports Science & Medicine*, 13(2), 297–303.
- Coutinho, D., Gonçalves, B., Travassos, B., Abade, E., Wong, D. P. y Sampaio, J. (2018). Effects of pitch spatial references on players' positioning and physical performances during football small-sided games. *Journal of Sports Sciences*, 37(7), 741–747. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1523671>
- Cox, M. H., Miles, D. S., Verde, T. J. y Rhodes, E. C. (1995). Applied physiology of ice hockey. *Sports Medicine*, 19(3), 184–201.
- Daivids, K., Button, C. y Bennet, S. J. (2008). *Dynamics of skill acquisition: A constraints-led approach*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Davies, K. M. (2018). Perceptions of players, coaches, and parents on a scaled tennis equipment program (Tesis doctoral). Universidad de Pretoria, Pretoria, Sudáfrica.
- Dellal, A., Jannault, R., Lopez-Segovia, M. y Pialoux, V. (2011). Influence of the numbers of players in the heart rate responses of youth soccer players within 2 vs. 2, 3 vs. 3 and 4 vs. 4 small-sided games. *Journal of Human Kinetics*, 28, 107–114.

- Devís, J. y Peiró, C. (2007). La iniciación en los juegos deportivos: La enseñanza para la comprensión. In R. Arboleda (Ed.), *Aprendizaje motor: Elementos para una teoría de la enseñanza de las habilidades motrices* (pp. 105–129). Medellín: Funámbulos.
- Folgado, H., Duarte, R., Marques, P. y Sampaio, J. (2015). The effects of congested fixtures period on tactical and physical performance in elite football. *Journal of Sports Sciences*, 33(12), 1238–1247. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1022576>
- Ghosh, A. K., Goswami, A., Mazumdar, P. y Mathur, D. N. (1991). Heart rate & blood lactate response in field hockey players. *The Indian Journal of Medical Research*, 94, 351–356.
- Goldberger, A. L., Amaral, L. A., Hausdorff, J. M., Ivanov, P. C., Peng, C. K. y Stanley, H. E. (2002). Fractal dynamics in physiology: alterations with disease and aging. *Proceedings of the national academy of sciences*, 99(suppl 1), 2466–2472.
- Halouani, J., Chtourou, H., Gabbett, T., Chaouachi, A. y Chamari, K. (2014). Small-sided games in team sports training: a brief review. *The journal of strength & conditioning research*, 28(12), 3594–3618.
- Hill-Haas, S. V., Coutts, A. J., Dawson, B. T. y Rowsell, G. J. (2010). Time-motion characteristics and physiological responses of small-sided games in elite youth players: the influence of player number and rule changes. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 24(8), 2149–2156.
- Honório, S.; Batista, M.; Serrano, J.; Petrica, J.; Martins, J. y Faustino, A. (2019). A importância do jogo de mini-hóquei em patins nos escalões de benjamins e escolares. *E-balonmano.com: Revista de Ciências del Deporte*, 15 (2), 127–134.
- Jamshad, M. y Praveen, A. (2017). Effect of small sided games on selected physical and performance related variables among young soccer players. *International Journal of Physical Education, Sports and Health*, 4(3), 450–453.
- Kelly, D. M. y Drust, B. (2009). The effect of pitch dimensions on heart rate responses and technical demands of small-sided soccer games in elite players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12, 475–479. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.01.010>
- Konarski, J., Matuszynski, M. y Strzelczyk, R. (2006). Different team defense tactics and heart rate during a field hockey match. *Studies in Physical Culture & Tourism*, 13, 145–147.
- Lacasa, K., Orteu, E., Gabriel, E., Salas, C., Torrents, C. e Hileno, R. (2018). ¿Profe! ¿Montamos el campo de MiniPádel? Los small sided games como medio de iniciación al pádel para niños de 6 a 10 años. En J. Courel-Ibáñez, B. J. Sánchez-Alcaraz y J. Cañas (Eds.), *Nuevos avances en Investigación en Pádel* (pp. 68–83). Sevilla: Vanculen.
- Léger, L. y Lambert, J. (1982). Applied Physiology to Predict VO<sub>2</sub> max. *European Journal of Applied Physiology*, 49, 1–12.
- Limpens, V., Buszard, T., Shoemaker, E., Savelsbergh, G. J. P. y Reid, M. (2018). Scaling constraints in junior tennis: the influence of net height on skilled players' match-play performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 89(1), 1–10.
- Mallo, J. y Navarro, E. (2008). Physical load imposed on soccer players during small-sided training games. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 48(2), 166–171.
- Malone, S. y Collins, K. (2017). Effect of game design, goal type, and player numbers on the physiological and physical demands of hurling-specific small-sided games. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(6), 1493–1499.
- Montgomery, P. G., Pyne, D. B. y Minahan, C. L. (2010). The Physical and Physiological Demands of Basketball Training and Competition. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(1), 75–86.
- Ometto, L., Vasconcellos, F. V. A. A., Cunha, F. A., Teoldo, I., Souza, C. R. B., Dutra, M. B., ... Davids, K. (2018). How manipulating task constraints in small-sided and conditioned games shapes emergence of individual and collective tactical behaviours in football: A systematic review. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 13(6), 1200–1214. <https://doi.org/10.1177/1747954118769183>
- Owen, A., Twist, C. y Ford, P. (2004). Small-sided games: the physiological and technical effect of altering pitch size and player numbers. *Insight*, 7(2), 50–53.
- Praça, G. M., Bredt, S. G. T., Torres, J. O., Custódio, I. J. O., Andrade, A. G. P., Morales, J. C. P., ... Greco, P. J. (2018). Influence of numerical superiority and players' tactical knowledge on perceived exertion and physical and physiological demands in soccer small-sided games. *Journal of Sport Psychology*, 27(2), 31–38.
- Rampinini, E., Impellizzeri, F. M., Castagna, C., Abt, G., Sassi, A. y Marcora, S. M. (2007). Factors influencing physiological responses to small-sided soccer games. *Journal of Sports Sciences*, 25(6), 659–666.
- Reilly, T. y Dorrie, A. (1992). Physiology Applied to Field Hockey. *Sports Medicine*, 14(1), 10–26.
- Renshaw, I. y Chow, J.-Y. (2018). A constraint-led approach to sport and physical education pedagogy. *Physical Education and Sport Pedagogy*, 24(2), 103–116.
- Renshaw, I., Chow, J. Y., Davids, K. y Hammond, J. (2010). Physical Education and Sport Pedagogy A constraints-led perspective to understanding skill acquisition and game play: a basis for integration of motor learning theory and physical education praxis? *Physical Education and Sport Pedagogy*, 15(2), 117–137.
- Ric, A., Hristovski, R., Gonçalves, B., Torres, L., Sampaio, J. y Torrents, C. (2016). Timescales for exploratory tactical behaviour in football small-sided games. *Journal of Sports Sciences*, 34(18), 1723–1730. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1136068>

- Tessitore, A., Meeusen, R., Piacentini, M. F., Demarie, S. y Capranica, L. (2006). Physiological and technical aspects of "6-a-side" soccer drills. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 46(1), 36–42.
- Timmerman, E. A., Farrow, D. y Savelsbergh, G. J. P. (2017). The effect of manipulating task constraints on game performance in youth field hockey. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 12(5), 588–594.
- Timmerman, E., De Water, J., Kachel, K., Reid, M., Farrow, D. y Savelsbergh, G. (2015). The effect of equipment scaling on children's sport performance: the case for tennis. *Journal of Sports Sciences*, 33(10), 1093–1100.
- Torres-Ronda, L., Gonçalves, B., Marcelino, R., Torrents, C., Vicente, E. y Sampaio, J. (2015). Heart rate, time-motion, and body impacts when changing the number of teammates and opponents in soccer small-sided games. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(10), 2723–2730. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000932>
- Valente-dos-Santos, J., Sherar, L., Coelho-e-Silva, M. J., Pereira, J. R., Vaz, V., Cupido-dos-Santos, A., ... Malina, R. M. (2013). Allometric scaling of peak oxygen uptake in male roller hockey players under 17 years old, 395, 390–395.
- Wilkinson, M. y Winter, E. M. (2018). Estimation versus falsification approaches in sport and exercise science. *Journal of Sports Sciences*, 37, 1–2. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1479116>
- Yagüe, P. L., Del Valle, M. E., Egocheaga, J., Linnamo, V. y Fernandez, A. (2013). The competitive demands of elite male rink hockey. *Biology of Sport*, 30(3), 195–199.





# CAPÍTULO 9

Capturing Interpersonal Synergies in Social Settings:  
An Example Within Badminton Cooperative Task



*Passos, P., Lacasa, E., Milho, J., & Torrents, C. (2020). Capturing Interpersonal Synergies in Social Settings: An Example within a Badminton Cooperative Task. Nonlinear dynamics, psychology, and life sciences, 24(1), 59-78.*

*Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences, Vol. 24, No. 1, pp. 59-78.*  
© 2020 Society for Chaos Theory in Psychology & Life Sciences

## **Capturing Interpersonal Synergies in Social Settings: An Example within a Badminton Cooperative Task**

**P. Passos**,<sup>1</sup> *Universidade de Lisboa, Dafundo, Portugal*, **E. Lacasa**, *National Institute of Physical Education of Catalonia, University of Lleida, Spain*, **J. Milho**, *Instituto Superior de Engenharia de Lisboa and IDMEC, Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal*, and **C. Torrents**, *National Institute of Physical Education of Catalonia, University of Lleida, Spain*

**Abstract:** *In social contexts of racket sports, the interactive behaviour between players in the same team is supported by visual coupling. Visual cues allow the players to dynamically coordinate their movements and maintain a suitable interpersonal distance, thereby decreasing the odds of missing score a point. The dynamic feature of this interpersonal coordination requiring reciprocal nonlinear behavioural adjustments to stabilize a relative position may be considered an interpersonal synergy. We used the Uncontrolled Manifold Hypothesis (UCM) methodology to test this hypothesis and capture interpersonal synergies in badminton doubles. The variability of the distance between players was utilized as a performance variable and the variability of player velocities were used as task-relevant elements. To our knowledge, this is the first study to identify interpersonal synergies in a cooperative task in badminton doubles at different moments within the same rally. Eight male badminton players were randomly assigned in four doubles with similar technical and tactical level. The participants performed 154 trials over two matches. Interpersonal synergies were found on approximately half of the trials examined. Moreover, the results reveal that shortest interpersonal distances create better conditions for the nonlinear adjustments required for interpersonal synergy formation in badminton doubles.*

**Key Words:** interpersonal coordination, synergy, racket sports, cooperation, coupling

### **INTRODUCTION TO SYNERGIES**

The concept of synergies was applied to human movement studies to describe and explain how goal-directed behaviours are coordinated in systems with multiple components (Bernstein, 1967; Kugler & Turvey, 1987). Notwithstanding, Bernstein left unanswered issues related to the formation of synergies.

---

<sup>1</sup> Correspondence should be addressed to: Pedro Passos, Faculdade de Motricidade Humana/Universidade de Lisboa. Estrada da Costa, Cruz Quebrada, 1499-02, Dafundo, Portugal. E-mail: ppassos@fmh.ulisboa.pt

It was also in the late 60's when Haken (1977) hypothesized that functional synergies as core of coordinated actions emerge due to self-organization. This hypothesis of synergies in human movement due to self-organization was later successfully formalized by the HKB model (Haken, Kelso, & Bunz, 1985).

By definition, synergies are context-sensitive functional groupings of components that are temporarily assembled to act as a single coherent unit (Kelso, 2009a, 2009b). In synergy models the components of a system are assumed as degrees of freedom (DoF) with the relevant feature that they are allowed to vary. However, any action performed by a movement system with multiple DoF requires two key characteristics to be considered as a synergy: (a) dimensional compression (DC) refers to the processes of physically and perceptively coupling the relevant DoF, thereby reducing the overall dimensionality of the movement system; and (b) reciprocal compensation (RC) corresponds to the movement dependency of one DoF on the others within the movement system, and it allows adaptive behaviours to face unexpected contextual changes (Riley, Richardson, Shockley, & Ramenzoni, 2011; Romero, Kallen, Riley, & Richardson, 2015). Compensation is an instant action performed by the elements of the system in response to an internal or external perturbation, ultimately aiming to maintain relative stability in a goal-directed behaviour (Fusaroli, Raczaszek-Leonardi, & Tylén, 2013).

Synergies are also characterised by a temporary need to perform a function, as they only emerge to achieve a specific performance goal. Indeed, it is this specific goal what constrains the coupling of several components into one 'single' system (DC). This coordinated coupling allows the movement system to resist and overcome unexpected external and internal perturbations through compensatory adjustments of the individual components (RC). Moreover, these mechanisms also ensure the flexibility needed to maintain the relative stability in the movement system required to sustain functionality during the time required to perform a task (Fusaroli et al., 2013; Romero et al., 2015). Thus, a synergy exists when system components reciprocally make compensations to stabilize the performance of a goal-directed behaviour. The function, or performance goal, is an integral part of an interactive behaviour. For instance, in racket sports doubles, the players' decisions and actions are coordinated towards a common goal, which is ultimately to play an activity together. For this purpose, the players in doubles may assume different roles in the course of a rally and compensate their partner for technical and tactical mistakes resulting from the opponents' disturbing actions (Fusaroli et al., 2013).

Finally, synergies can differ in strength, and the behavioural adjustments that define a synergistic behaviour can change over time, including on different time scales. For instance, changes can occur on long time scales as a result of practice due to effects of learning, and on shorter time scales during a trial. These time-related influences on synergy formation are important reasons for testing whether intrapersonal or interpersonal motor actions correspond to a synergy. Analysing synergies can be technically and mathematically challenging (Romero et al., 2015).



### Interpersonal Synergies

In social settings, including competitive and cooperative sports, perception and the ability to anticipate others' actions are key for the individual. The interpersonal coordination between players is mediated by specific sources of visual information that allow the perception of global motion. An example of such visual cues is the rate of optical expansion of the other players' movements (Meerhoff, De Poel, & Button, 2014). Moreover, although the visual information coupling the actions of interacting individuals is much weaker than the biomechanical constraints intrinsic to interlimb intrapersonal coordination, the same coordination dynamics are typically found on interpersonal coordination tasks (Schmidt & Richardson, 2008). Thus, sources of visual information enable the 'interactive capacity' of two individuals in a system and increase their potential to produce coupled behaviours, which create the appropriate conditions to form an interpersonal synergy (Gipson, Gorman, & Hessler, 2016; Richardson, Marsh, Isenhower, Goodman, & Schmidt, 2007; Schmidt, Carello, & Turvey, 1990; Schmidt & Fitzpatrick, 2016). However, interpersonal coordination does not always require synergies, but may instead simply mirror a coincidence of matching actions from two individuals coordinating their movements independently. Such coincidental coordination is established at an individualistic, rather than collective level (Romero et al., 2015).

Previous research quantifying interpersonal synergies between two rugby union players that were not physically coupled suggests that visual coupling between the ball carrier and a support player encourages the formation of interpersonal synergies (Passos, Milho, & Button, 2017). Racket sports, such as badminton, have different task constraints to team sports. In racket sports doubles, players in the same team need to be coordinated to maintain an interpersonal distance that prevents an attack action from the opponent into the space between them. Squash and badminton have been characterised in a previous study (McGarry, Khan, & Franks, 1999) with self-organised patterns of interpersonal coordination between opposing players. The authors characterised behavioural stability as a synchrony state where the player dyadic system (i.e., 1 vs 1) tends to remain stable until the players seek an opportunity to gain advantage over the opponent. Synchronization is the predisposition of coupled individuals move together at (approximately) the same time (Gipson et al., 2016). If this synchrony state is broken by a behavioural perturbation, the dyadic system becomes unstable because one player may take advantage over the opponent who is trying to re-establish behavioural stability (McGarry et al, 1999). The transition between these two synchrony states was captured with relative phase analysis and by identifying in- and anti-phase states of dyadic synchronization. The results suggest that 1 vs 1 dyads in racket sports behave as two coupled oscillators (McGarry, 2006; McGarry, Anderson, Wallace, Hughes, & Franks, 2002; McGarry et al., 1999). Moreover, when coupled movements between two tennis players in competitive rallies (i.e., 1 vs 1) were examined with dynamical system analysis (Palut & Zanone, 2005), the data revealed in-phase and anti-phase synchronization of the

direction of the players' movements. Although interpersonal synergies between teammates were not investigated in these racket sports studies, these results are relevant for our research.

It is important to note that racket sports players establish interpersonal movement coordination based on a locus of oscillation, for instance, in badminton doubles this locus is approximately the centre of the half-court (McGarry et al., 2002; McGarry & De Poel, 2016). This implies the centre half-court is a task constraint that forces players within doubles to reciprocally adjust their relative positions for achieving the most efficient interpersonal coordination pattern. Despite being a powerful tool to quantify synchronization states between components of a dynamical system, relative phase analysis cannot detect the relationship between the behaviour of each individual component and the task performance goals, for instance, for maintaining interpersonal distance. Thus, as synchronization can only provide indirect evidence for potential interpersonal synergies (Romero et al., 2015). Moreover, synergies only assemble when there is a need to achieve a specific performance goal. Thus, we need a method that captures the relation between an individual's reciprocal compensation (as an expression of interpersonal coordination) and the performance goal.

The Uncontrolled Manifold Hypothesis (UCM) (Schoner, 1995) is a methodology that could fit this purpose and was previously used to successfully detect and measure interpersonal dyadic synergies in rugby union (Passos et al., 2017). Romero and colleagues (2015) was one of the first studies using UCM to determine whether interpersonal synergies occur in a discrete pointer-to-target joint-action task, and it showed that co-acting individuals can form soft-assembled dyadic synergies during discrete joint action task (Romero et al., 2015).

Research to date has focused on quantifying synergies in long timescales, as a result of learning. However, in the present study we aim to quantify interpersonal synergies in shorter time scales, specifically, those formed during a badminton rally. We were particularly interested in analysing whether players maintained interpersonal distance during each rally independently, or whether they behaved as a single coherent unit (synergy). If we confirm the latter scenario, dimensional compression occurs in the players dyadic system. Additionally, if the players' behavioural adjustments lead to successful completion of the task, ensuring an interpersonal distance that probably avoids an attack of the opponent to the space between them, reciprocal compensation must also be taking place.

### **The Uncontrolled Manifold Hypothesis (UCM)**

The UCM has been described as "a geometrical approach that seeks to discover the structure of variance in multi-degree-of-freedom task spaces in which all degrees of freedom have a common metric. The structure of variance in that space is interpreted in terms of its meaning for task variables" (Schoner & Scholz, 2007). The UCM is a subspace built on the variance of the task-relevant elements and can be described as a geometrical 'object' containing all possible combinations of task-relevant elements representing a stabilized reference value of the performance variables (Black, Riley, & McCord, 2007; Klous, Danna-dos-Santos,

**NDPLS, 24(1), Interpersonal Synergies in Badminton****63**

& Latash, 2010; Schoner & Scholz, 2007). The variance of the task-relevant elements can be manifested in two directions: along the UCM (stabilizing the performance values for a reference value) or perpendicular to the UCM (disturbing the performance variable and increasing the system vulnerability to internal and external perturbations). In badminton doubles, RC restricts the variability perpendicular to the UCM that may disturb the stability of the players' interpersonal distance during each rally. Conversely, allowing variability along the UCM increases the resilience of badminton doubles teammates in maintaining the interpersonal distance during each rally.

**Synergies and Racket Sports: An Example from Badminton**

The coordination dynamics theory postulates that a functional synergy is grounded on the complementarity between stability (i.e., the system's resilience to external perturbations) and variability (Kelso & Engström, 2006). This general feature of human movement systems provides adaptability and enables performance in a constantly changing context (Glazier, Wheat, Pease, & Bartlett, 2006). It is this complementary nature between stability and variability what allows a system to achieve the same task goal through different paths. A relevant challenge in the application of this general theoretical concept to a racket sports such as badminton is identifying the process underlying variations in behaviours to stabilize task specific performance variables (i.e. adaptation). In badminton, the players aim to maximize their performance by disturbing the opponents' performance. Consequently, badminton doubles players should vary the ways in which they interact with one another to stabilize a task-specific *performance variable*. These variations can be defined as a task goal that, if possible, should remain relatively stable (Black et al., 2007). In badminton specifically, the relative position of two teammates in the court, as measured by interpersonal distance, is a relevant performance variable in a match that should remain relatively stable during each rally. Additionally, some *task relevant elements* need to co-vary (e.g., player velocity and position on the court) to stabilize those task-specific performance variables (Riley et al., 2011). Thus, relevant questions are: (i) what are the *performance variables* that must remain stable to ensure system resilience to external and internal perturbations and (ii) what are the variable *task relevant elements* of synergies that promote relative stability?

Similar to research in rugby union, in badminton it has been assumed that visual coupling forms the basis of interpersonal synergies between two players. However, this question has not been addressed to date. The present study investigates whether interpersonal synergies form between teammates in badminton doubles, especially during competitive rallies. Data from rugby union studies suggest that differences in UCM values may occur between different moments of the same trial, given that differences in UCM have been recorded between trials. Moreover, such differences in UCM values have already been found between different moments (initial, middle, final) of the same rhythmic cycle movement (Black, Riley, & McCord, 2007). Thus, when compared with previous studies identifying interpersonal synergies at a single moment as a

reference value (Passos et al., 2017), the present study aims to detect interpersonal synergies for different moments within the same rally, by characterizing different interpersonal distances as reference values. This research would, therefore, uncover any changes in UCM values at different moments within the same trial.

To test our hypothesis that badminton doubles form interpersonal synergies, we will use interpersonal distance between teammates as a performance variable, and player velocities as task relevant elements. The velocity of the players is not determined uniquely by their attacking or defensive strategies, but rather by a variety of task constraints, including the need to maintain a relative position on court in order to play as a stable unit. Previous research used player velocity to characterize interpersonal synergies and interpersonal synchronization patterns in sports games (Kijima et al., 2012; Passos, Milho and Button, 2017). In summary, this study aims to quantify interpersonal synergies in badminton doubles teammates based on a potential relationship between the players' running line velocities and interpersonal distances in each rally.

## METHODS

### Participants

Eight male badminton players (mean age 28.62 +/- 4.25) were randomly assigned in four doubles with similar technical and tactical level. The average number of years of practice was 7.85 +/- 2.72. Match 1, played by double 1 and double 2, lasted 19 min 25 s. and had 74 rallies. Match 2, played by double 3 and double 4, lasted 16 min and had 80 rallies. A rally is defined as a series of shots between opposing players starting with a serve and ending when the point is won. A total of 154 rallies ( $N=154$ ) were used to analyse interpersonal synergies in badminton doubles. For each rally, there were two potential synergies (one for each double), which a total of 308 potential synergies. To avoid bias in the players' behaviour, they were not informed about the research focus. The participants were only asked to play as they use to do in a competitive badminton match. The sample size was estimated using  $F$ -tests (ANOVA repeated measures within factors) for a group and 2 measurements, with a medium effect size of 0.25, an alpha error probability of 0.05, a beta error probability of 0.05, and a correlation among measures of 0.20, which provided a total sample size per group of 86 rallies. This procedure was performed using the GPower software (Universität Düsseldorf, Germany). The study protocol conformed to the recommendations of the Declaration of Helsinki and was approved by the Clinical Research Ethics Committee of Sports Administration of the Catalan Government (09-2018-CEICGC).

### Performance Variable and Task Relevant Elements

The first step was to select a relevant performance variable that remained stable during each rally. The candidate performance variable was the relative position of the players, which was calculated as their interpersonal distance at the beginning of each rally. The continuous changes in this interpersonal distance over time describe the interactive behaviour between the teammates. First, the

**NDPLS, 24(1), Interpersonal Synergies in Badminton 65**

interpersonal distance at the beginning of a rally was used as a reference value to determine whether synergies occur in badminton doubles. Second, to detect whether interpersonal synergies occur for different moments within the same rally, three different interpersonal distances values were added as reference values. These reference values were calculated for each rally, corresponding to the tercile upper cut points of the range defined between the minimum and maximal interpersonal distance.

For this analysis of synergies occurring within a rally, 42 out of 154 rallies were randomly selected based on a minimum sample size that is representative of the rallies population. For this purpose, an estimate of the mean of touches in the rallies population was considered. Assuming a 95% confidence level with a Z score of 1.96 from the standard normal distribution, an estimate of the standard deviation  $\sigma$  of 3.16 touches in the rallies population, and an acceptable margin of error  $e$  of one pass for the mean being estimated, the sample size  $n$  required (Cochran, 1977) is given by Eq.1:

$$n = \frac{Z^2 \cdot \sigma^2}{e^2} = \frac{1.96^2 \cdot 3.16^2}{1^2} = 38$$

Although this sample size of 38 is suitable and could be further reduced (as it exceeds 5% of the population), a larger sample size of 42 rallies was preferred to ensure a more robust representativeness of the population.

Next, the task relevant elements were selected. Stabilizing a performance variable around a reference value of interpersonal distance means reducing the variance between the relative positions of both teammates during the rally. If the players' interpersonal distance is not disturbed during a rally, the players can maintain their initial position on court. However, any disturbance resulting from a response to the opponents' action forces the players to adjust their position to maintain a desirable interpersonal distance. Hence, we hypothesized the players adjust their running line velocities and develop compensatory movements to create variability and stabilize their interpersonal distance close to the reference value.

To calculate interpersonal distances and velocities, we collected positional data for each player during every rally. The coordinates  $(x, y)$  for each position on the plane of the court were obtained with the WIMU PRO™ system (WIMU PRO™, RealTrack Systems, Almeria, Spain). 20-Hz UWB chipsets were integrated in the inertial measurement unit (IMU) device. Two WIMU PRO™ inertial devices were placed in a custom-made vest fitted tightly to the body on the posterior side of the upper torso, as typically used in games (Castillo, Carmona, Sánchez, & Ortega, 2018). The data were processed using Matlab® dedicated routines (MathWorks, Inc., Massachusetts, USA) and used to compute the variables related to player velocities and interpersonal distance.

**Main Procedures to Compute the UCM**

To test the hypothesis that relevant elements stabilize a performance variable we computed two quantities (Black et al, 2007): (a) the variance along

the UCM (compensated variance) and (b) the variance perpendicular to the UCM (uncompensated variance). The variance along the UCM reveals the reciprocal compensation in the players' velocities that stabilize the interpersonal distance around its reference value, whereas the variance perpendicular to the UCM shows changes in the players' velocities that do not contribute for that stabilization. The UCM ratio between compensated and uncompensated variance allows for comparisons and hence for the quantification of interpersonal synergies as follows: for UCM values  $>1$  a synergy occurs, and for UCM values  $<1$  there is no synergy between players.

The methodology used to compute the UCM values for quantifying interpersonal synergies has been previously published (Passos et al., 2017). To assess UCM over time in each rally, a discretization of the model using discrete time points was conducted based on the players' positional data. The duration of each rally, with its corresponding total number of time points, was defined as the time occurring between the moment when the serve starts and the moment when the shuttle touches the floor (end of the point).

Based on a Jacobian of the system evaluated at the reference configuration  $\mathbf{J}^0$  describing how small changes in the output of the players' velocities echoes in the magnitude of the interpersonal distance, the system response may be estimated by

$$\delta^t - \delta^0 = \mathbf{J}^0 \cdot \begin{bmatrix} v_1^t - v_1^0 \\ v_2^t - v_2^0 \end{bmatrix}$$

where  $\delta$  is the interpersonal distance between double players interpersonal distance,  $v$  is the players velocity, the superscripts  $t$  and  $0$  refer respectively to each given time or the reference configuration state, and the subscripts 1 and 2 refer respectively to designated player 1 and player 2 within a double.

The Jacobian matrix required for the UCM calculation could not be achieved by differentiation as no analytical model linking running line velocities and interpersonal distance is available. Thus, an estimation of the Jacobian matrix was obtained using a linear multiple regression method considering the interpersonal distance as a function of the velocities of both players (Klous et al., 2010). This method assumes the form given by

$$\delta^t - \delta^0 = K_1 \cdot (v_1^t - v_1^0) + K_2 \cdot (v_2^t - v_2^0)$$

and the coefficients of the regression  $K_1$  and  $K_2$  obtained for each trial are arranged in the Jacobian matrix at the reference configuration, given by

$$\mathbf{J}^0 = [K_1 \quad K_2]$$

We examined the estimated multiple regression for multicollinearity of the regression predictors given by the players' velocities, which may result in unreliable regression coefficients, low robustness of the model, and unreliable out-of-sample predictions. To calculate multicollinearity, we used the variance inflation factor (VIF; Allison, 1999, p. 142).

**NDPLS, 24(1), Interpersonal Synergies in Badminton 67**

We considered that lower values ( $1 < VIF < 10$ ) indicate low correlation among predictors, and higher values ( $VIF > 10$ ) were associated with predictor multicollinearity (Hair, 2010). This methodology estimates compensated and uncompensated variances associated with directional deviations on the UCM subspace, which was approximated to the null-space of the Jacobian representing the combinations of player velocities not affecting interpersonal distance.

A corresponding basis vector of the null-space allows to resolve a vector of the players velocities deviations from the reference configuration into its parallel and perpendicular projections onto the UCM subspace and estimate the variance in each of the subspaces  $var_{comp}$  and  $var_{uncomp}$ , such that the quantification of the functional synergies is obtained by the ratio  $UCM$  given by

$$UCM = \frac{var_{comp}}{var_{uncomp}}$$

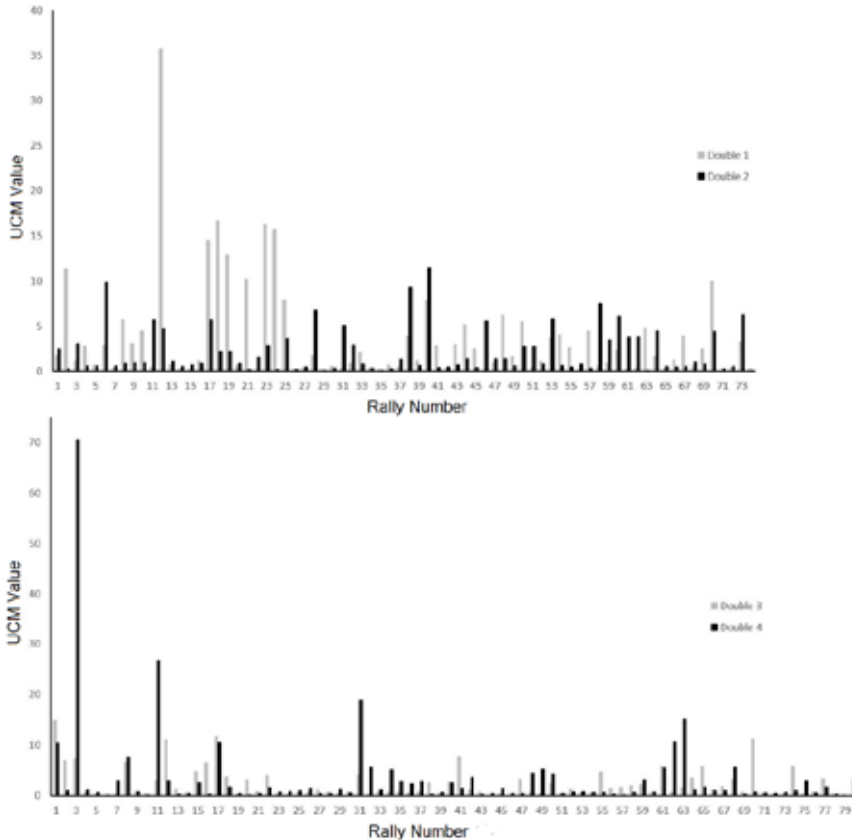
For compensated variance higher than uncompensated variance, the corresponding  $UCM$  ratio value is higher than 1, indicating the presence of synergy. Conversely, compensated variance lower than uncompensated variance with a corresponding  $UCM$  ratio value lower than 1, indicates the absence of synergy.

Additionally, a methodology based on Richardson and Dale (2005) was used to measure the probability of interpersonal synergy occurrence with a different dataset containing the temporal configurations as the performance variable. This approach applies shuffled baselines of synchronization to the eye movement coupling between participants. By shuffling the temporal order of the time series under analysis, this method creates a randomized series distribution. The shuffled time series is therefore used as a reference baseline or “at chance” occurrence. We hypothesised that interpersonal synergies in badminton doubles may be formed with a different temporal order to the performance variable, hereinafter referred to as *shuffled line-up*. Thus, the reciprocal adjustments of the task relevant elements may sustain several performance variable shuffled line-ups within the same range of values. To test this hypothesis, we created a randomized series distribution by shuffling the temporal order of the performance variable series in each trial dataset. To maintain linear structure and amplitude distribution, we used Amplitude Adjusted Fourier Transform to obtain a surrogate series of the performance variable shuffled series. Using this performance variable shuffled series and the same task relevant variables series, a new UCM value was calculated to obtain the probability of synergy occurrence with a different performance variable shuffled line-up (for detailed methodology please see Passos et al., 2017). ANOVA analysis was conducted to assess the reliability of UCM ratios  $> 1$  (indicating synergy). Statistical significance was assumed for higher  $F$ -test values with  $p < .05$ .

**RESULTS****Interpersonal Synergies in Badminton Doubles**

The changes in UCM occurring during the badminton rallies analysed reveal no clear tendency (Fig. 1). However, we found interpersonal synergies in

the four badminton doubles. Indeed, 125 out of 308 potential interpersonal synergies had  $UCM > 1$ , suggesting that approximately 40% of the players' interactive behaviour has potential to create synergies. Specifically, 50%, 40%, 40% and 32% of the rallies performed by double 1 to 4, respectively, achieved  $UCM > 1$  (Table 1).



**Fig. 1.** (a) UCM values for doubles 1 and 2; (b) UCM values for doubles 3 and 4.

Concerning descriptive statistics, doubles 2 and 4 obtained the highest UCM median values (4.10 and 4.30, respectively, whereas double 1 and 4 exhibited the widest range of values 34.45 and 68.80, respectively, Table 1). A number of rallies with  $UCM > 1$  had to be excluded from the analysis because they did not reach statistical significance. Double 4 showed the highest exclusion rate (at 36%) due to non-significant differences between perpendicular and orthogonal variance.



**NDPLS, 24(1), Interpersonal Synergies in Badminton**

**Table 1.** UCM Descriptive Statistics for Each Double.

	<i>Double 1</i>	<i>Double 2</i>	<i>Double 3</i>	<i>Double 4</i>
UCM Median	4.00	4.10	3.82	4.30
UCM Max value	35.69	11.48	14.96	70.49
UCM Min value	1.25	1.31	1.24	1.68
UCM Range (max-min)	34.45	10.18	13.72	68.80
N of UCM excluded*	5	4	6	15
%UCM excluded*	11.90	11.76	15.79	36.59
N of UCM>1	37	30	32	26
%UCM > 1	50.00	40.54	40.00	32.50

\* $p < .05$

Of further interest, the data revealed that the double with more synergies scored 62.9% of the points in the rallies analysed, whereas only 14.3% of the rallies were won by the double that adopted other interpersonal coordination patterns (i.e., had fewer synergies). In 22.8% of the rallies, neither of the doubles reached UCM values consistent with synergies formation.

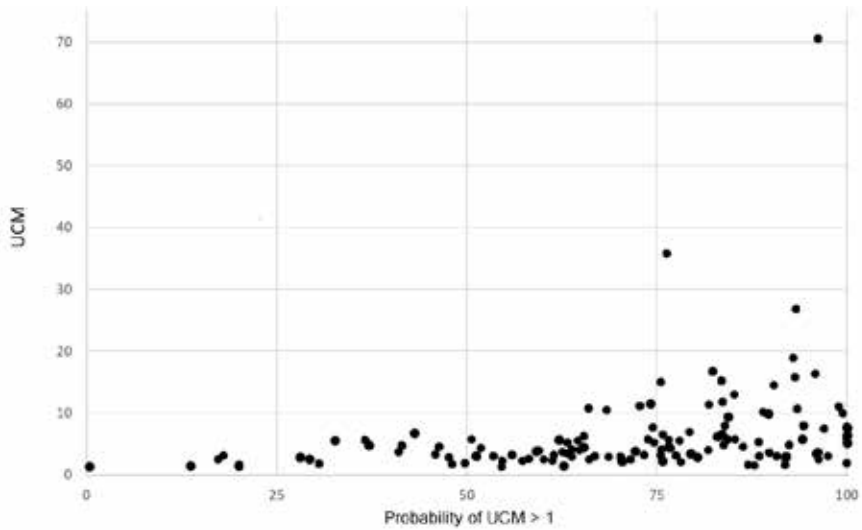
**Probability of Forming an Interpersonal Synergy with Shuffled Performance Data**

When we analyzed the probability of synergy formation ( $UCM > 1$ ) with a different temporal order of the performance variable (i.e., a different performance variable line up), we found that only 7 out of 125 rallies were under 25% of forming synergies with a different performance variable temporal order. For 15 out of 125 rallies this probability was between 25% and 50%. 41 out of 125 rallies had a strong probability (50% to 75%) and finally, 62 out of 125 rallies had a very strong probability (above 75%) of synergies formation with a different performance variable line up.

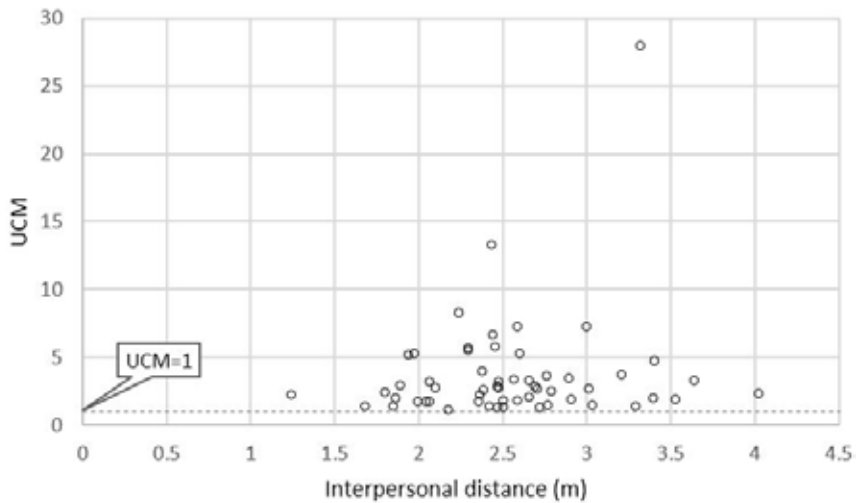
**Interpersonal Synergies for Different Moments within the Same Rally**

The analysis of UCM at different moments of each rally allows the identification of interpersonal distances with higher synergies. The results show that higher synergies ( $UCM > 1$ ) were achieved when interpersonal distance was on average between 1.5 and 3.5 meters (Fig. 3). Specifically, interpersonal synergies occurred when interpersonal distance was between 1 m and 3 m, 1.5 m and 3.5 m, 2 and 3.5 m, and 2 m and 4 m for doubles 1 to 4, respectively (Fig. 4).

Moreover, this analysis also enabled the identification of the interpersonal distance corresponding to the highest synergy (Fig. 5). The profile of UCM values resembles an inverted-U shape, suggesting that average interpersonal distances have the highest synergies. However, Fig. 6 reveals a profile of de-



**Fig. 2.** Probability of getting an UCM value above 1 with a different shuffled line up of the performance variable (i.e., players interpersonal distance). Each black dot represents a rally with an UCM > 1.



**Fig. 3.** Values of interpersonal distances with higher interpersonal synergies (UCM>1) for the four dyads.

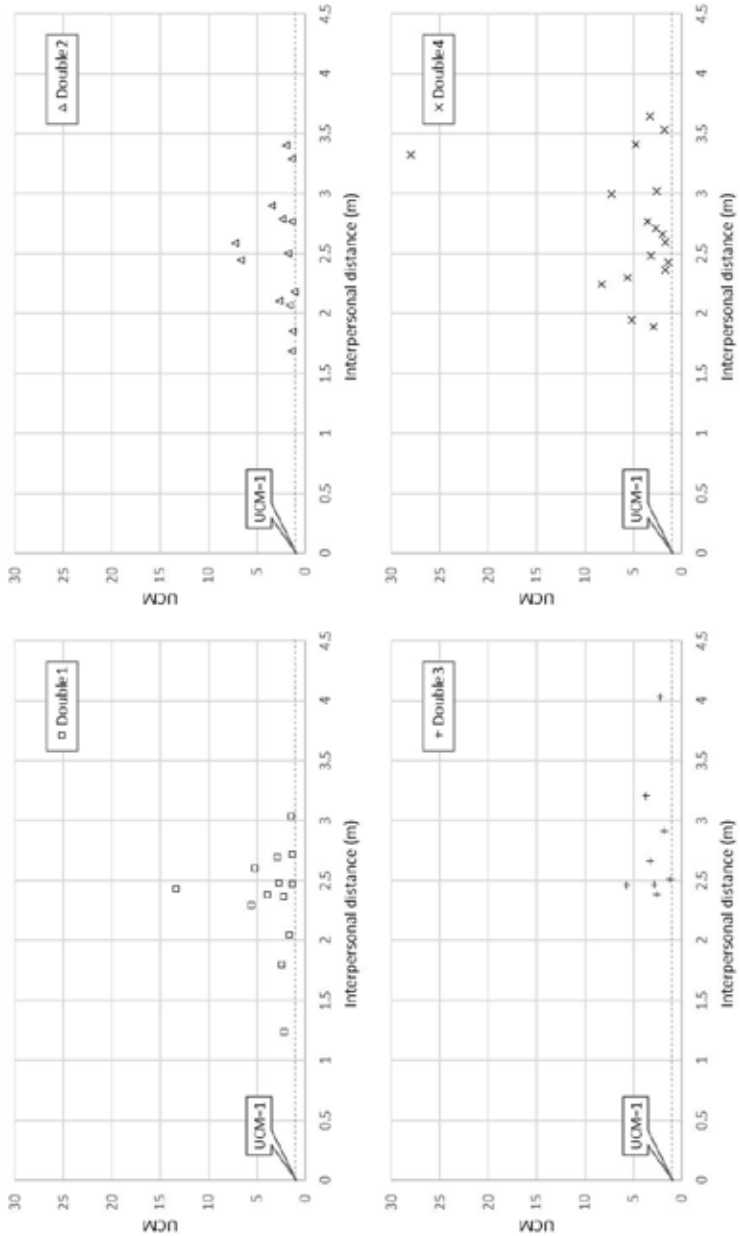
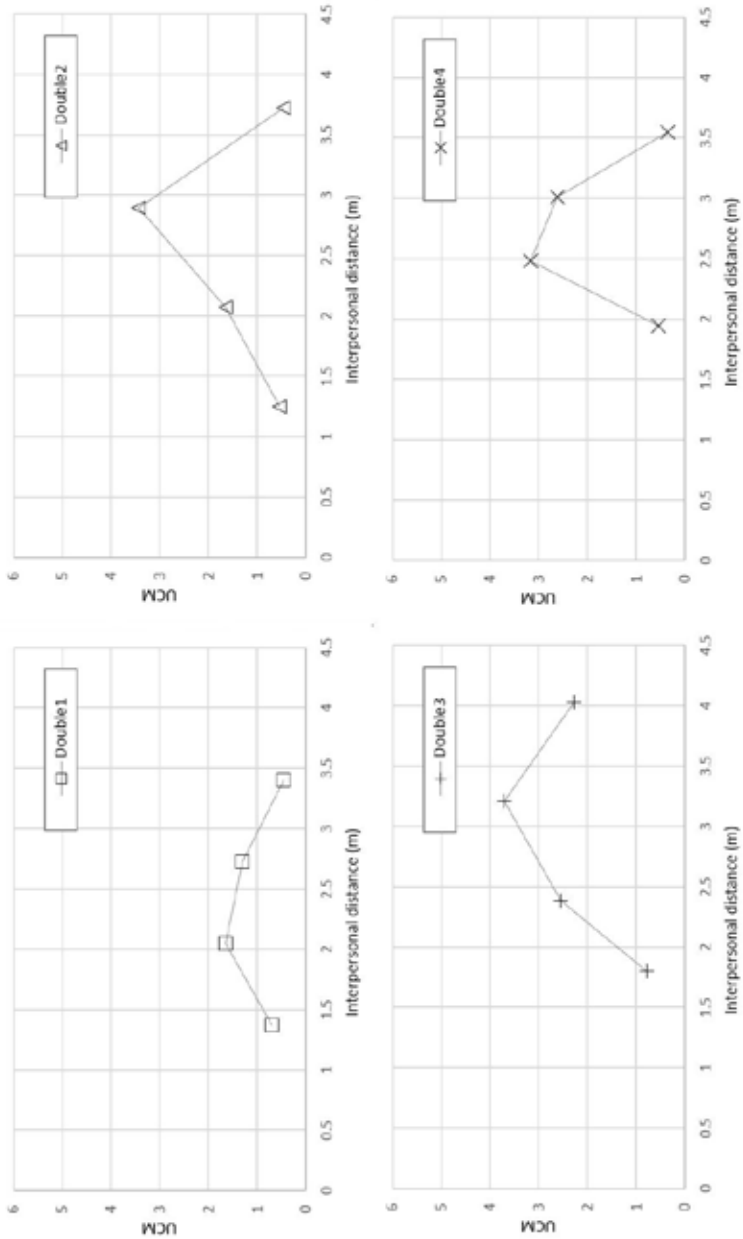


Fig. 4. Values of interpersonal distances with higher interpersonal synergies (UCM>1) for each double.



**Fig. 5.** Exemplar data of the UCM values of a single rally, of each double, displayed an inverted-U shape profile.

NDPLS, 24(1), Interpersonal Synergies in Badminton

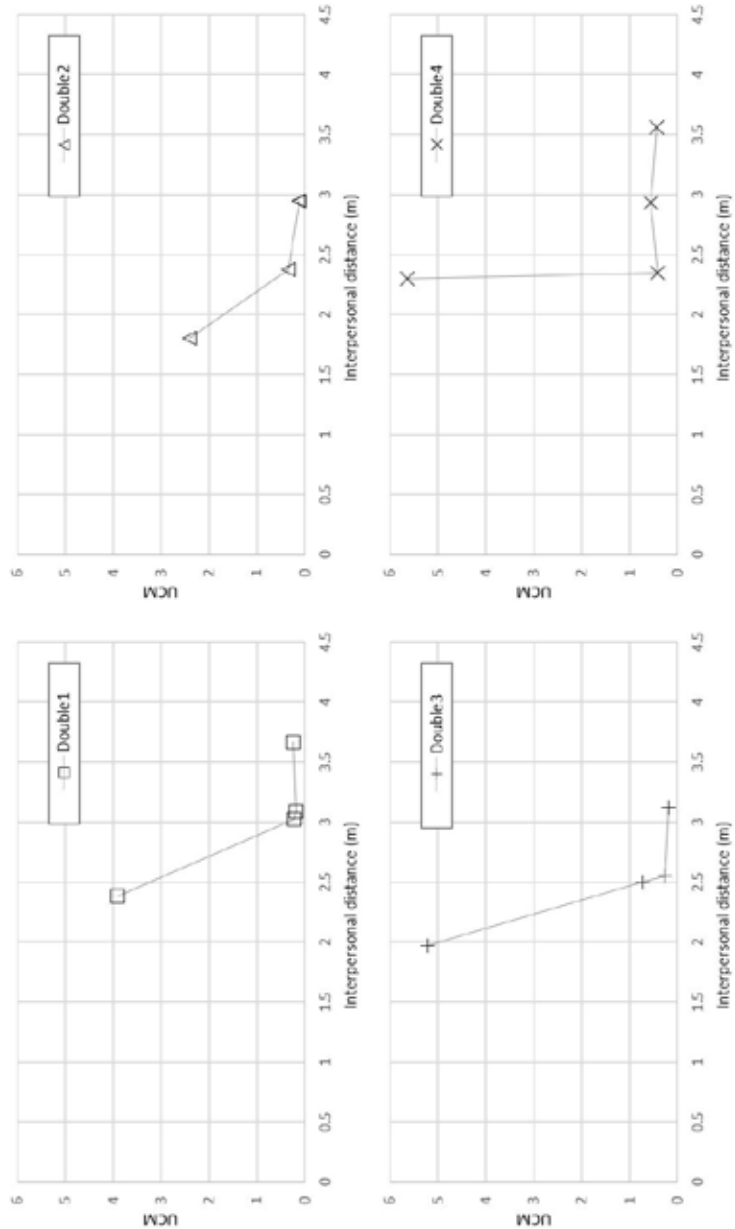


Fig. 6. Exemplar data of the UCM values of a single rally, of each double, displayed a descendent profile.

decreasing UCM values, revealing that the highest synergy values were achieved with shorter interpersonal distances.

## DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Our data showing the occurrence of interpersonal synergies in badminton doubles reveals that players adjust their velocity to stabilize interpersonal distance within the reference value. However, due to sample size used on this study we suggest caution concerning the generalization of results.

Maintaining a 'safe' interpersonal distance promotes the coordination of the teammates' movements towards a 'single' coupled system, suggesting the occurrence of dimensional compression (DC). Theoretically, synergies make the badminton double more resilient to overcome and avoid unexpected external perturbations (e.g., opponents attack to the mid court) with compensatory adjustments, which in turns suggests that reciprocal compensation (RC) occurs in badminton doubles. Both synergy features (DC and RC) ensure the players can make the changes in velocity necessary to maintain a relatively stable interpersonal distance. A stable interpersonal distance safeguards the functionality of the badminton double as a cooperative movement system during a rally (Fusaroli et al., 2013; Romero et al., 2015). Nevertheless, the linkage between synergies formation and performance outcomes is an issue that requires further research.

The aforementioned UCM values are related to synergy strength, and since UCM is a ratio, an upper boundary is not applicable (Black et al., 2007). If synergy strength is a result of high reciprocal compensation, decreasing player individual variability may hypothetically lead to a reduction in functionality of the movement system. In other words, the movement system becomes so resilient to external and internal perturbations that loses the ability to adapt. At the collective system level, a common performance goal is achieved when players do the 'right' action in the 'right' place in the 'right' time, where the term "right" is highly influenced by the others' actions. This means that to keep an adaptive behavior at the system level, a certain amount of individual variability is tolerable and desirable (Guastello, 2016). This could raise a very interesting issue for further research.

Concerning the probability of getting an  $UCM > 1$  with a different temporal configuration of the interpersonal distance dataset, our results reveal that 32.8% and 49.6% of the rallies with synergies have relatively high (between 50% and 75%) or very high (above 75%) probability of achieving  $UCM > 1$  with a different shuffled line-up of the player interpersonal distance, respectively. These results suggest that player velocity is reciprocally adjusted to stabilize several interpersonal distance configurations during a rally and supports the hypothesis that a range of interpersonal distance can form a synergy, consistent with previous research in rugby union (Passos et al., 2017).

Moreover, we found that interpersonal synergies are highly specific for each situation (Passos et al., 2017), which could explain why patterns of interpersonal synergies cannot be found in cooperative tasks within competitive settings. Indeed, the variability in player velocity is tightly associated with the

**NDPLS, 24(1), Interpersonal Synergies in Badminton****75**

specificity of each situation, which means that players reciprocally adjust velocities due to unique contextual constraints that emerge during a rally.

Our research highlights the relevance of the prospective control of action (Fajen, Riley, & Turvey, 2009), as the information created locally due to reciprocal adjustments influences the players' decisions and actions aimed at stabilizing a concomitant performance goal (e.g., maintain interpersonal distance). However, this potential relationship between synergy strength and response to the opponents' technical action requires further research. For instance, a response to a *smash* or a *drop* requires different behaviours, which may influence synergy formation within a double. Moreover, these responses and consequently synergy formation, may also be linked to the players' technical level. Further research is needed to explore this possibility.

Changes in performance variables reference values allowed us to identify the range of interpersonal distances associated with synergy formation. It is important to note that each range of values is specific for each rally. It is possible this specificity also depends on match level, which should be investigated in future research. Interestingly, these results suggest that the adjustments in player velocity stabilize a range of interpersonal distance values, rather than a single reference interpersonal distance. Within that range, the variation in UCM included values associated with synergy formation ( $UCM > 1$ ) but also with the absence of synergies ( $UCM < 1$ ). However, not all dyadic or collective actions require a synergy to be successful. Indeed, there are other types of interpersonal coordination, such as synchronization, in which players mimic the other's behaviour within temporal proximity (Fusaroli et al., 2013). Moreover, performing a task in coordination with a teammate may require a set of actions without the need to be performed at the same time.

The inverted-U shape UCM profile suggests there is an optimal relationship between interpersonal distance and synergy values. On the other hand, the profile with decreasing UCM values suggests that shortest interpersonal distance may be a task constraint for synergy formation in badminton doubles. These results are in agreement with the hypothesis of Black and colleagues regarding the location effect. The authors suggest that UCM varies during a trial, which suggests that synergy strength may also vary within each trial (Black, et al., 2007). Moreover, these results bring novelty to the studies on interpersonal synergies and are consistent with the hypothesis that player velocities stabilize one performance variable but synergy strength varies during a trial (Passos et al., 2017). More research is needed to further explore this hypothesis.

Together our results suggest that in social settings perceptive coupling to the other (e.g., teammate) to adjust a task relevant element (e.g., displacement velocity) seems crucial to create interpersonal synergies.

**REFERENCES**

Allison, P. D. (1999). *Multiple regression: A primer*. Thousand Oaks, CA: Pine Forge Press.

- Bernstein, N. A. (1967). *The co-ordination and regulation of movements*. Oxford: Pergamon Press.
- Black, D. P., Riley, M. A., & McCord, C. K. (2007a). Synergies in intra- and interpersonal interlimb rhythmic coordination. *Motor Control, 11*, 348-373.
- Black, D. P., Riley, M. A., & McCord, C. K. (2007b). Synergies in intra- and interpersonal interlimb rhythmic coordination. *Motor Control, 11*, 348-373.
- Castillo, A. B., Carmona, C., Sánchez, E., & Ortega, J. P. (2018). Accuracy, intra- and inter-unit reliability, and comparison between GPS and UWB-based position-tracking systems used for time-motion analyses in soccer. *European Journal of Sport Science*. doi: 10.1080/17461391.2018.1427796
- Cochran, W. G. (1977). *Sampling techniques* (3rd ed.). New York, NY: John Wiley & Sons.
- Fajen, B. R., Riley, M. A., & Turvey, M. T. (2009). Information, affordances, and the control of action in sport. *International Journal of Sport Psychology, 40*, 79-107.
- Fusaroli, R., Raczaszek-Leonardi, J., & Tylén, K. (2013). Dialog as interpersonal synergy. *New Ideas in Psychology, 32*, 147-157. doi.org/10.1016/j.newideapsych.2013.03.005
- Gipson, C. L., Gorman, J. C., & Hessler, E. E. (2016). Top-down (prior knowledge) and bottom-up (perceptual modality) influences on spontaneous interpersonal synchronization. *Nonlinear Dynamics Psychology and Life Sciences, 20*, 193-222.
- Glazier, P. S., Wheat, J. S., Pease, D. L., & Bartlett, R. M. (2006). The interface of biomechanics and motor control: Dynamic systems theory and the functional role of movement variability. In K. Davids, S. J. Bennett & K. M. Newell (Eds.), *Movement system variability* (pp. 167-181). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Guastello, S. J. (2016). Introduction to interpersonal synchronization. *Nonlinear Dynamics Psychology and Life Science, 20*, 141-143.
- Hair, J. F. J., Anderson, R. E., Tatham, R. L. & Black, W. C. . (2010). *Multivariate data analysis* (7th ed.). City of Publication: Pearson.
- Haken, H. (1977). *Synergetics: An introduction*. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Haken, H., Kelso, J. A. S., & Bunz, H. (1985). A theoretical-model of phase-transitions in human hand movements. *Biological Cybernetics, 51*, 347-356. doi: 10.1007/Bf00336922
- Kelso, J. A. (2009a). Coordination dynamics. In R. A. Meyers (Ed.), *Encyclopedia of complexity and system Science* (pp. 1537-1564). Heidelberg: Springer.
- Kelso, J. A. (2009b). Synergies: Atoms of brain and behavior. In D. Sternad (Ed.), *A multidisciplinary approach to motor control* (Vol. 629, pp. 83-91). Heidelberg: Springer.
- Kelso, J. A., & Engström, D. (2006). *The complementary nature*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kijima, A., Kadota, K., Yokoyama, K., Okumura, M., Suzuki, H., Schmidt, R. C., & Yamamoto, Y. (2012). Switching dynamics in an interpersonal competition brings about "deadlock" synchronization of players. *PLoS One, 7*(11), e47911. doi: 10.1371/journal.pone.0047911
- Klous, M., Danna-dos-Santos, A., & Latash, M. L. (2010). Multi-muscle synergies in a dual postural task: Evidence for the principle of superposition. *Experimental Brain Research, 202*, 457-471. doi: 10.1007/s00221-009-2153-2
- Kugler, P. N., & Turvey, M. T. (1987). *Information, natural law, and the self-assembly of rhythmic movement*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.



**NDPLS, 24(1), Interpersonal Synergies in Badminton**

77

- McGarry, T. (2006). Identifying patterns in squash contests using dynamical analysis and human perception. *International Journal Performance Analysis in Sport*, 134–147.
- McGarry, T., Anderson, D. I., Wallace, S. A., Hughes, M. D., & Franks, I. M. (2002). Sport competition as a dynamical self-organizing system. *Journal of Sports Science*, 20, 771-781. doi: Doi 10.1080/026404102320675620
- McGarry, T., & De Poel, H. J. (2016). Interpersonal coordination in competitive sports contests. In P. Passos, K. Davids & J. Y. Chow (Eds.), *Interpersonal coordination and performance in social systems* (pp. 195-210). New York, NY: Routledge.
- McGarry, T., Khan, M. A., & Franks, I. M. (1999). On the presence and absence of behavioural traits in sport: An example from championship squash match-play. *Journal of Sports Sciences*, 17, 297-311. doi: Doi 10.1080/026404199366019
- Meerhoff, L. A., De Poel, H. J., & Button, C. (2014). How visual information influences coordination dynamics when following the leader. *Neuroscience Letters*, 582, 12-15. doi: 10.1016/j.neulet.2014.08.022
- Palut, Y., & Zanone, P. G. (2005). A dynamical analysis of tennis: concepts and data. *Journal of Sports Science*, 23, 1021-1032. doi: 10.1080/02640410400021682
- Passos, P., Milho, J., & Button, C. (2018). Quantifying synergies in two versus one situations in team sports: An example from Rugby Union. *Behavior Research Methods*, 50, 620-629.
- Richardson, D. C., & Dale, R. (2005). Looking to understand: the coupling between speakers' and listeners' eye movements and its relationship to discourse comprehension. *Cognitive Science*, 29, 1045-1060. doi: 10.1207/s15516709cog0000\_29
- Richardson, M. J., Marsh, K. L., Isenhower, R. W., Goodman, J. R., & Schmidt, R. C. (2007). Rocking together: Dynamics of intentional and unintentional interpersonal coordination. *Human Movement Science*, 26, 867-891. doi: 10.1016/j.humov.2007.07.002
- Riley, M. A., Richardson, M. J., Shockley, K., & Ramenzoni, V. C. (2011). Interpersonal synergies. *Frontiers in Psychology*, 2, 38. doi: 10.3389/fpsyg.2011.00038
- Romero, V., Kallen, R., Riley, M. A., & Richardson, M. J. (2015). Can discrete joint action be synergistic? Studying the stabilization of interpersonal hand coordination. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 41, 1223-1235. doi: 10.1037/xhp0000083
- Schmidt, R. C., Carello, C., & Turvey, M. T. (1990). Phase transitions and critical fluctuations in the visual coordination of rhythmic movements between people. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 227-247.
- Schmidt, R. C., & Fitzpatrick, P. (2016). The origin of the ideas of interpersonal synchrony and synergies In P. Passos, K. Davids & J. Y. Chow (Eds.), *Interpersonal coordination and performance in social systems* (pp. 17-31). Abingdon, UK: Routledge.
- Schmidt, R. C., & Richardson, M. J. (2008). Dynamics of Interpersonal Coordination. In F. A. & J. V.K. (Eds.), *Coordination: Neural, behavioral and social dynamics. Understanding complex systems* (pp. 281-308). Berlin: Springer.
- Schoner, G. (1995). Recent developments and problems in human movement science and their conceptual implications. *Ecological Psychology*, 7, 291-314.

78

*NDPLS, 24(1), Passos et al.*

Schoner, G., & Scholz, J. P. (2007). Analyzing variance in multi-degree-of-freedom movements: Uncovering structure versus extracting correlations. *Motor Control, 11*, 259-275.



# CAPÍTULO 10

How to Take a "Portrait" of Interpersonal Synergies Formation? Exemplar data with Expert Badminton Doubles"



## How to Take a 'Portrait' of Interpersonal Synergies Formation? – Exemplar data with Expert Badminton Doubles

Passos, P.(1)., Lacasa, E.(2), Milho, J.(3), Diniz, A.(1), & Torrents, C (2).

<sup>1</sup>CIPER, Faculdades de Motricidade Humana, Universidade de Lisboa

<sup>1</sup>Complex System in Sports Research Group, National Institute of Physical Education from Catalonia, University of Lleida, Lleida, Spain

<sup>3</sup>CIMOSM, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa and IDMEC, Instituto Superior Técnico

### ABSTRACT

In the last decades, previous research regarding interpersonal synergies formation has emerged under the Uncontrolled Manifold concept, identifying synergies formation based on a single combination of task elements. However, in social systems with redundant degrees of freedom, several combinations to stabilize a performance goal may be the most common picture. Thus, the main goal of this explorative study was to create a 'portrait' of the set of task elements combinations adopted to stabilize a performance goal, which is usually associated with synergies formation. The Uncontrolled Manifold concept was used for that purpose. Our results displayed that the created 'portraits' did not display any pattern of interpersonal synergies. Moreover, for all the portraits there were combinations of task elements that had the primacy over the others. A primacy that changed with the length of the rally. For the shortest and for the longest rallies, the spatiotemporal dimension seemed to be more relevant to form interpersonal synergies, whereas for the rallies in the middle, both the spatial and the spatiotemporal dimension were important for that purpose. Also, the decreasing of synergies strength changed with the increasing of the rally length. These results highlight an idiosyncratic feature associated with interpersonal soft-assembly synergies.

## INTRODUCTION

In social interactions, subjects usually work together if they have a common performance goal. However, the question of how we coordinate with the others to perform as a whole remains an open issue (Nordham & Kelso, 2016). Aiming to solve this issue, in recent years a series of studies regarding interpersonal synergies formation have emerged (Fusaroli, Raczaszek-Leonardi, & Tylén, 2013; J. A. S. Kelso, 2017; Passos, Lacasa, Milho, & Torrents, 2020; Passos, Milho, & Button, 2018; Riley, Richardson, Shockley, & Ramenzoni, 2011; Slomka et al., 2015). Previous research with interpersonal synergies formation in badminton doubles identified dyadic synergies formation in approximately 40% of the rallies when the performance goal was to stabilize player's interpersonal distance (Passos et al., 2020). A similar study with rugby union dyads identified synergies formation in 34% of the trials when the performance goal was the interpersonal angle at the moment of the pass to a support player (Passos et al., 2018). Notwithstanding, our curiosity relies on the remaining trials, in which previous research could not identify the presence of synergies.

A main feature of these studies was the existence of a performance goal which should remain stable during the course of an action or across a set of trials, and the characterization of task elements which need to reciprocally adjust to stabilize ('control') the performance goal within desirable values. When this occurred, a synergy was formed (Latash, 2010a, 2010b). Despite these studies identified the relation between task elements and the performance goal that lead to the formation of interpersonal synergies, they only identified one single task elements combination for a performance goal. However, synergies are not based on rigid coordinative states, their recruitment and dissolution is a dynamic process, as the different elements are assembled to accomplish contextual demands (J. A. S. Kelso, Buchanan, DeGuzman, & Ding, 1993). Therefore, in systems with many degrees of freedoms (i.e., with many possibilities of action), it is possible that there is more than one single combination among the task elements, more precisely, there may be several combinations to stabilize the same performance goal.

For instance, during the course of a Badminton rally, it is desirable that players within a double collectively protect (i.e., 'cover' as a unit) the space among them to avoid an attacking movement of the opposing double to the middle of them. Due to the movement of

the player's, the unprotected spaces change continuously, leading to fluctuations in their relative interpersonal distance as well as in the speed at which they need to move to adjust to match constraints. This suggests that the space among players of the same double is a variable that should be controlled and, as such, assumed as a performance goal. By 'controlled' we mean a variable that should remain relatively stable during the course of an action (in this specific case, during the course of a rally). So far, research tells us that the relative stability of a performance goal (e.g., interpersonal distance; interpersonal angle) is associated with how fast players adjust relative positions (Passos et al., 2018; Passos et al., 2020). Interpersonal coordination in sports performance is not only associated with the relative velocity of those positional adjustments, it is also influenced by task and environmental constraints which set the specificity of each situation. In some specific situations, positional adjustments might be enough to accomplish the task goal, whereas in other situations, the velocity at which those positional adjustments occur might be crucial. The relative stabilization of a performance goal may require several space-time solutions characterized by several combinations of task elements. In previous research on interpersonal synergies that was not always the case.

### *Interpersonal Synergies and the Uncontrolled Manifold*

As previously stated, to stabilize a performance goal, synergies formation requires the reciprocal adjustment between task elements (Latash, 2010b; Riley et al., 2011). The task elements used in the previous research study with badminton doubles and also with rugby union dyads were players running lines velocities. To stabilize the interpersonal distance, some sort of adjustments in players running lines velocities must be 'controlled' (avoiding to disturb the performance goal), whereas other sort of adjustments in running line velocities should be left 'uncontrolled' (should vary contributing to stabilize the performance goal). This suggests the existence of a manifold where multiple solutions to stabilize the interpersonal distance (as a performance goal) are gathered (Passos et al., 2020; Scholz & Schoner, 1999). Within that manifold, these adjustments are characterized with two sorts of variance of the task elements: a 'bad' variance which is required to be controlled in order not to disturb the performance goal, and a 'good' variance which must be left 'uncontrolled' to find out several ways to stabilize the performance goal (Scholz & Schoner, 1999). This relation between 'good' and 'bad' variance created by task elements reciprocal adjustments was

associated with synergies formation (Latash, 2010a, 2010b). Synergies are defined as context sensitive functional groupings of elements, which are temporarily assembled to act as a single coherent unit (J. A. Kelso, 2009).

Previous research, with whole-body sway tasks performed by a standing person, suggested the existence of 'flexible' synergies in movement systems where the task elements may change under practice constraints (Danna-Dos-Santos, Degani, Zatsiorsky, & Latash, 2008). In fact, the hallmark of a synergy is that the individual components spontaneously adjust their behaviour to sustain the integrity of the function (J. S. Kelso, Tuller, Vatikiotis-Bateson, & Fowler, 1984). Extending this idea to interpersonal synergies formation, it seems that in a context such as Badminton doubles, where players can move in several directions, assuming different positions on the court and with velocities in different planes of motion (e.g., transversal or longitudinal plane of motion), the task elements used to stabilize a performance goal must be more than solely player's running line velocities. Thus, several manifolds can be formed, which may contribute to stabilize the same performance goal during the course of an action, when this happens dyadic synergies are assemble. The thing is: hypothetically there are several task elements that may contribute at the same time to stabilize the same performance goal. Hence, a dyadic synergy can be supported by the combination of several task elements. Therefore, an important question to understand the formation of dyadic synergies could be: what are the task elements of primary importance? (Scholz & Schoner, 1999).

We were inspired from previous work regarding the principle of abundance (Gelfand & Latash, 1998), in which the authors suggested that all the task elements (e.g., player's velocities; player's positions on the pitch) involved in a task cooperate to stabilize a performance goal (e.g., player's interpersonal distance). To achieve this stabilization there is not a unique combination but rather a set of possible combinations among task elements to stabilize a single performance goal. One point is noteworthy, the set of adopted combinations is smaller than the total number of possible combinations, which means that an optimization is required (Latash, Gorniak, & Zatsiorsky, 2008). This optimization is strongly influenced by the changes in task constraints, such as player's relative positions, during the course of each rally. Thus, a main question that could be a general issue for further research studies on interpersonal synergies is: what are the



principles that organize those set of combinations? Despite a few studies developed in recent years regarding interpersonal synergies formation (Passos et al., 2018; Passos et al, 2020; Fusaroli at al., 2013), there is still a lack of knowledge concerning these principles. To start filling this gap there is a preceding issue that we aim to address on this explorative study. To find out those principles a characterization of the set of combinations adopted to stabilize a performance goal is required. Thus, our first research question is: All over a set of trials what are the primary task elements combinations? i.e., those that within the total number of possible combinations are adopted often.

The main objective of this paper is to create a 'portrait' of the set of task elements combinations adopted to stabilize a performance goal. With this 'portrait', we can start setting out the principles involved in interpersonal synergies formation.

Empirically, badminton coaches often focus on analyzing the first strokes of a rally. Maybe early in the rally is where the constraint of the coach's strategic work in anticipating the hits may have more influence. But, during the course of a badminton rally players responses to the opponents actions requires different behaviours, as in other dyadic situations (Passos et al., 2020; Passos et al., 2018) we expect that the variability of player's interactive behavior it is not uniform along a badminton rally. Thus, the length of each rally could be a factor that might contribute to different 'portraits' of synergies formation, which lead us to our second research question: how the length of a rally might influence interpersonal synergies formation? Our expectation is that, as long as players interact, more adjustments among task elements are required which might lead to differences in the created portrait. This continuous adjustments among task elements lead to changes in the two sorts of variance within the created manifold and consequently to the strength of the synergy (Black, Riley, & McCord, 2007). This lead us to our third research question: how the strength of the synergies change during the course of a badminton rally? Due to the need of continuous interpersonal adjustments, we expect a decrease of the synergies strength with the increase of the rally length.

## **METHODS**

### *Participants*

Twelve male and female elite badminton players (mean age 24.92 +/- 4.95) were randomly assigned to six doubles with similar

technical and tactical level. The average number of years of practice was 14.75 +/- 3.70. Match 1, played by double 1 and double 2, lasted 30 min 1 s. and had 87 rallies. Match 2, played by double 3 and double 4, lasted 23 min 4 s. and had 80 rallies. Match 3, played by double 5 and double 6, lasted 37 min 38 s. and had 82 rallies. A rally is defined as a series of shots between opposing players starting with a serve and ending when the point is won. A total of 249 rallies (N=249) were used to analyse interpersonal synergies formation in badminton doubles. Just to clarify, a badminton double is composed by two players of the same team that will play a match together. A badminton dyad is when players (within a double) are informationally coupled (e.g., visually coupled) to perform as a single unit, that is as a dyadic synergy. To circumvent bias of the players' behaviour, they were not informed of the research focus. The players were only asked to play as they usually do in a competitive badminton match. The badminton rallies were divided according to time.

The sample size was estimated using F-tests (ANOVA Fixed effects, One-way) for 3 groups, with a medium effect size of 0.25, an alpha error probability of 0.05, and a beta error probability of 0.10, which provided a total sample size per group of 207 rallies. This procedure was performed using the GPower software (Universität Düsseldorf, Germany) (Faul, Erdfelder, Lang, & Buchner, 2007). The study protocol conformed to the recommendations of the Declaration of Helsinki and was approved by the Clinical Research Ethics Committee of Sports Administration of the Catalan Government (09-2018-CEICGC).

### *Interpersonal synergies assessment – the Uncontrolled Manifold*

To assess interpersonal synergies formation along each rally, a Matlab® R2016b routine was created based on the Uncontrolled Manifold (UCM) concept. For all the mathematical and statistical details associated with this computational procedure, please see Passos, Milho & Button (2018) and Appendix 1.

To test the hypothesis that each combination of task elements stabilizes a performance variable, two types of variance of the task elements were calculated (i.e., the compensated (or 'good') variance, which stabilizes the performance variable; and the uncompensated (or 'bad') variance, which disturbs the performance variable). However, this computational procedure required reference values for both, the performance variable and the task elements. For that

purpose, the mean value of the data series of each rally was used as a reference value. It should be noted that in the literature the term 'task elements' is also referred as 'elemental variables' (Latash, 2010b; Latash, Scholz, & Schoner, 2007).

For each combination of task elements, the output is an UCM index ratio calculated with the compensated and uncompensated variances, which enables to characterize the presence or absence of synergies as well as their strength. When UCM index was  $> 1$ , then the presence of a synergy was considered. On the contrary, for UCM index  $< 1$ , it was considered that there was no synergy. Moreover, the higher the UCM index value, the stronger the synergy is considered (Black et al., 2007).

### *The UCM and the primary task elements combinations*

Thus, as required for the UCM index computation, the first step was to select a performance variable which describes players' interactive behaviour and should remain stable during each rally. The candidate performance variable was the players' interpersonal distance assuming the mean as a reference value. The second step was to select the task elements whose reciprocal adjustments contribute to stabilize the performance variable around the reference value. The selected task elements were: i) each player position in the longitudinal plane of movement (i.e., net to end-court), characterized with  $x$  coordinate; ii) each player position in the transversal plane of movement (i.e., towards side-lines of the court), characterized with  $y$  coordinate; iii) the rate of change of players' position in the longitudinal plane of movement, characterized by the velocity of  $x$ ; iv) the rate of change of players' position in the transversal plane of movement, characterized by the velocity of  $y$ ; and v) players' velocity, calculated with the velocity vector for each of the players. However, a standard procedure to use the UCM approach is that, to form a homogeneous high-dimensional space, the task elements metrics should have commensurate units (Schöner & Scholz, 2007). This means that we can only combine task elements with the same metrics, for instance, players' positional data (expressed in meters; coord $x_1$ , coord $x_2$ , coord $y_1$ , coord $y_2$ ) or players' velocities (expressed in  $m/s^{-1}$ ; vel $_x1$ , vel $_x2$ , vel $_y1$ , vel $_y2$ , vel $_1$ , vel $_2$ ). Hence, for each dyad in each rally there were a total of 13 possible combinations of task elements that led to synergies formation. For each rally it was created a matrix that quantified the combination of task elements that contribute to interpersonal synergies formation. The sum of the combinations that occurred across a set of rallies was represented on

a cumulative matrix. Then it was calculated the relative value for each cell of the cumulative matrix and percentage matrix was created, which illustrates the ‘portrait’ of synergies formation of that set of rallies. Each ‘portrait’ allow to identify the primary task elements combinations.

### Rally length and interpersonal synergies formation

The beginning of each rally can be more influenced by instructional/tactical constraints proposed by the coach. After some seconds, players’ interpersonal coordination are dynamically constrained by each player’s decisions and actions. The strength of the formed synergies is influenced by players’ reciprocal compensation. Based on the rational that more movements – more adjustments, we assumed that the time that players interact to each other during the course of a rally may had influence on synergies formation. By visual inspection of each rally, it was observed that for rallies that had up to four movements (i.e., service, response, and counter-response), players’ displacements were very limited. When that happened, the rallies lasted less than 4 seconds, thus it was decided to calculate a histogram considering bins of 4 seconds. Therefore, in the current study, for each double we had three sets of based-time rallies from which the ‘portraits’ of interpersonal synergies formation were

Rallies that last below 4 sec											
<b>Dyad 01</b>	coordx1	coordy1	vel_x1	vel_y1	vel_1	<b>Dyad 02</b>	coordx1	coordy1	vel_x1	vel_y1	vel_1
coordx2	26	30				coordx2	48	44			
coordy2	41	26				coordy2	52	33			
vel_x2			59	59	59	vel_x2			52	48	41
vel_y2			44	44	48	vel_y2			22	44	37
vel_2			59	52	56	vel_2			48	52	48
<b>Dyad 03</b>	coordx1	coordy1	vel_x1	vel_y1	vel_1	<b>Dyad 04</b>	coordx1	coordy1	vel_x1	vel_y1	vel_1
coordx2	13	31				coordx2	38	44			
coordy2	50	50				coordy2	50	25			
vel_x2			56	50	75	vel_x2			75	44	38
vel_y2			19	31	63	vel_y2			38	31	56
vel_2			38	56	38	vel_2			63	44	19
<b>Dyad 05</b>	coordx1	coordy1	vel_x1	vel_y1	vel_1	<b>Dyad 06</b>	coordx1	coordy1	vel_x1	vel_y1	vel_1
coordx2	43	71				coordx2	43	43			
coordy2	14	29				coordy2	14	29			
vel_x2			57	43	57	vel_x2			43	57	29
vel_y2			0	29	29	vel_y2			57	71	43
vel_2			29	14	43	vel_2			29	57	29

**Figure 1.** Percentage of task elements combinations that contributes to interpersonal synergies formation for rallies that lasted less than 4 seconds. The warmest colours (from the warmest to the coldest: red, orange, yellow, light green, green) highlight the combinations of task relevant elements with primacy. coordx1, coordy1, vel\_x1, vel\_y1, vel\_1 represent the task elements of player 1 (within each dyad); coordx2, coordy2, vel\_x2, vel\_y2, vel\_2 represent the task elements of player 2 (within each dyad).

created: i) rallies that lasted less than 4 seconds; ii) rallies that lasted between 4 and 8 seconds; and iii) rallies that lasted more than 8 seconds.

### Statistical procedures

The subsequent statistical analysis consisted of comparing the

Rallies that last 4_8sec											
<b>Dyad 01</b>	coordx1	coordy1	vel_x1	vel_y1	vel_1	<b>Dyad 02</b>	coordx1	coordy1	vel_x1	vel_y1	vel_1
coordx2	60	63				coordx2	63	49			
coordy2	63	54				coordy2	54	51			
vel_x2			57	40	49	vel_x2			60	57	46
vel_y2			60	37	51	vel_y2			43	34	34
vel_2			63	46	43	vel_2			51	51	37
<b>Dyad03</b>	coordx1	coordy1	vel_x1	vel_y1	vel_1	<b>Dyad04</b>	coordx1	coordy1	vel_x1	vel_y1	vel_1
coordx2	46	54				coordx2	29	18			
coordy2	39	43				coordy2	21	36			
vel_x2			57	39	57	vel_x2			54	36	43
vel_y2			43	43	68	vel_y2			43	36	43
vel_2			61	50	46	vel_2			68	46	50
<b>Dyad05</b>	coordx1	coordy1	vel_x1	vel_y1	vel_1	<b>Dyad06</b>	coordx1	coordy1	vel_x1	vel_y1	vel_1
coordx2	52	38				coordx2	34	38			
coordy2	31	31				coordy2	24	24			
vel_x2			45	41	31	vel_x2			41	31	31
vel_y2			41	38	31	vel_y2			55	38	45
vel_2			38	38	38	vel_2			41	45	21

**Figure 2.** Percentage of task elements combinations that contributes to interpersonal synergies formation for rallies that lasted between 4 and 8 seconds. The warmest colours (from the warmest to the coldest: red, orange, yellow, light green, green) highlight the combinations of task relevant elements with primacy. coordx1, coordy1, vel\_x1, vel\_y1, vel\_1 represent the task elements of player 1 (within each dyad); coordx2, coordy2, vel\_x2, vel\_y2, vel\_2 represent the task elements of player 2 (within each dyad).

UCM index mean values (associated with the presence of synergies, i.e., UCM index  $\geq 1$ ) across groups based on the rally time (i.e., rally time below 4 seconds, rally time between 4 and 8 seconds and rally time above 8 seconds). Due to the UCM requirement that the task elements metrics should have commensurate units (Schöner & Scholz, 2007), these statistical procedures were run separately for the combinations of task elements based on players' positions (i.e., coordx1, coordx2, coordy1, coordy2) and for the task elements based on players' velocities (i.e., vel\_x1, vel\_x2, vel\_y1, vel\_y2, vel\_1, vel\_2).

An important question in statistical inference is the presence of outliers (i.e., data values that lie outside the overall pattern), since these observations strongly influence the mean values, standard

Rallies that last above 8 sec											
<b>Dyad 01</b>	coordx1	coordy1	vel_x1	vel_y1	vel_1	<b>Dyad 02</b>	coordx1	coordy1	vel_x1	vel_y1	vel_1
coordx2	48	72				coordx2	36	40			
coordy2	56	52				coordy2	60	64			
vel_x2			48	32	44	vel_x2			56	72	44
vel_y2			44	56	40	vel_y2			40	40	28
vel_2			68	56	44	vel_2			44	32	52
<b>Dyad03</b>	coordx1	coordy1	vel_x1	vel_y1	vel_1	<b>Dyad04</b>	coordx1	coordy1	vel_x1	vel_y1	vel_1
coordx2	36	58				coordx2	33	53			
coordy2	33	61				coordy2	33	56			
vel_x2			58	64	53	vel_x2			67	36	72
vel_y2			58	50	50	vel_y2			56	58	58
vel_2			47	53	44	vel_2			39	44	53
<b>Dyad05</b>	coordx1	coordy1	vel_x1	vel_y1	vel_1	<b>Dyad06</b>	coordx1	coordy1	vel_x1	vel_y1	vel_1
coordx2	32	48				coordx2	48	48			
coordy2	39	52				coordy2	48	52			
vel_x2			55	55	52	vel_x2			68	48	45
vel_y2			52	41	48	vel_y2			55	41	59
vel_2			61	43	45	vel_2			59	50	36

**Figure 3.** Percentage of task elements combinations that contributes to interpersonal synergies formation for rallies that lasted more than 8 seconds. The warmest colours (from the warmest to the coldest: red, orange, yellow, light green, green) highlight the combinations of task elements that prevailed more. coordx1, coordy1, vel\_x1, vel\_y1, vel\_1 represent the task elements of player 1 (within each dyad); coordx2, coordy2, vel\_x2, vel\_y2, vel\_2 represent the task elements of player 2 (within each dyad).

deviations and global shapes of the distributions. Hence, the first step of the statistical study consisted of excluding the outliers of the UCM index in each group (i.e., rally time below 4 seconds, rally time between 4 and 8 seconds and rally time above 8 seconds), and for each task element (i.e., players' positions and players' velocities), based on the widely used rule that defines an outlier as a value that is more than  $1.5 \times (\text{interquartile range})$  below the first quartile or above the third quartile. The second step involved computing the mean values, standard deviations, minima and maxima for the UCM index in each group. Grounded on the large sample sizes and taking into account the approximately symmetrical shape of the distributions, the asymptotic normality was assumed and parametric methodologies were selected. So, the Levene's test was used to examine the homogeneity of variances of the UCM index across groups. Subsequently, and since the equality of variances was violated, the One-Way ANOVA with Welch's correction and Games-Howell's post-hoc comparisons were performed to evaluate the differences between the UCM index mean values of the groups. The probability  $p < 0.05$  was set as the criterion for statistical significance. This part of the study was undertaken using the IBM SPSS software (version 26, IBM Inc., USA).

## RESULTS

Regarding the outliers for each of the task elements under analysis, for players' positions 95 (10.9%) out of 867 cases were considered outliers and thus excluded from the analysis. For players' velocities 166 (7.8%) out of 2122 cases were considered as outliers and thus excluded from the analysis.

Dyad 02						
Time Bins	<4		4_8		>8	
Offensive	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1
coordx2	48		63		36	
vel_x2		52		60		56
Defensive	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1
coordy2	33		51		64	
vel_y2		44		34		40
Transition I	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1
coordx2	44		49		40	
vel_x2		48		57		72
Transition II	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1
coordy2	52		54		60	
vel_y2		22		43		40

**Figure 4.** Exemplar data of Dyad 2. Percentage of combinations of task elements that were present in interpersonal synergies formation according to rally duration. coordx1, coordy1, vel\_x1, vel\_y1 represent the task elements of player 1; coordx2, coordy2, vel\_x2, vel\_y2 represent the task elements of player 2. The cells with a red background in the first time bin identified the task elements combinations with primacy. Also, the cells with red background on the second and third time bins represent combinations of task elements with a primacy that remains along consecutive time bins. The cells with a yellow background represent combinations of task elements that gains primacy regarding the previous time bin.

### Primary task elements combinations

To identify the combinations of task elements that had the primacy over the others, six cumulative matrix that illustrated the 'portraits' of interpersonal synergies formation for each of the time bins were created: i) for rallies that lasted less than 4 seconds, ii) for rallies that lasted from 4 to 8 seconds, and iii) for rallies that lasted more than 8 seconds. Each dyad had a portrait for each time bin. The portraits for each dyad under analysis identified synergies formation based on the reciprocal adjustments among the task elements previously selected. For this analysis it was considered not only players' positional adjustments (captured with coordx1, coordx2, coordy1, coordy2), but also the time that a player within a dyad took to adjust her/his position (captured with vel\_x1, vel\_x2, vel\_y1, vel\_y2).

For the 249 rallies under analysis results displayed that on each rally there was at least one possible combination of task elements, which means that for all the rallies under analysis there was always synergies formation for both dyads within a match.

However, there were some combinations of task elements that had the primacy over the others (identified in all the figures with a red background). For instance, for the rallies that lasted less than 4 seconds, Dyad 1(D1) displayed four task elements combinations that were present in 59% of the rallies, all regarded with player 1 velocity in both planes of motion with player 2 velocity in the longitudinal plane of motion (i.e., net-to-court end line) (for a detailed analysis of the remaining dyads, please see the numbers with a red background in figure 1).

For the rallies that lasted between 4 to 8 seconds, D1 displayed three types of task elements combinations that contributed to interpersonal synergies formation with a primacy in 63% of the rallies. Two with positional adjustments of player 1 and player 2 in both planes of motion, and one velocity of player 1 in the longitudinal plane of motion with player 2 absolute velocity (for a detailed analysis of the remaining dyads, please see the numbers with a red background in figure 2).

**Table 1.** Descriptive statistics of the UCM index values for the combination of players' positions.

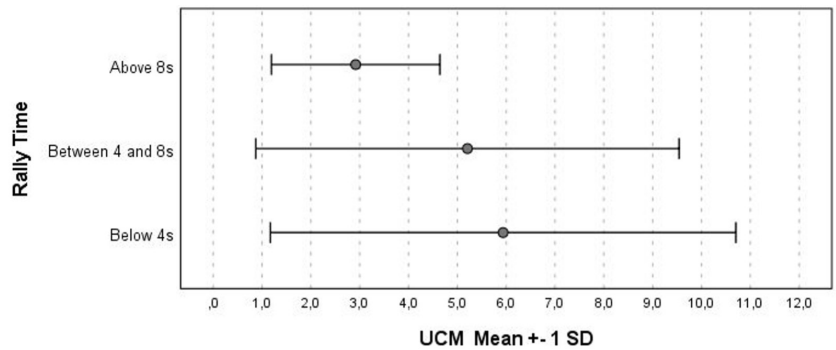
		Group – Rally Time		
		Below 4s	Between 4s - 8s	Above 8s
UCM	Mean ± SD	5.937 ± 4.765	5.207 ± 4.333	2.918 ± 1.724
	Min; Max	1.292; 21.975	1.159; 19.088	1.114; 8.426

**Table 2.** Descriptive statistics of the UCM index values for the combination of players' velocities.

		Group – Rally Time		
		Below 4s	Between 4s - 8s	Above 8s
UCM	Mean ± SD	4.737 ± 3.377	3.161 ± 1.762	2.395 ± 1.060
	Min; Max	1.391; 15.227	1.166; 8.724	1.169; 5.831



For the rallies that lasted more than 8 seconds, D1, D2 and D4 displayed one combination between task elements which had a primacy in 72% of the rallies. For D1, the interpersonal synergies were mostly formed by the player 1 positional adjustments in the transversal plane of motion with player 2 positional adjustments in the longitudinal plane of motion (i.e., coordy1 with coordx2). For D2, the combination of task elements with primacy was between player 1 velocity in the transversal plane of motion with player 2 velocity in the longitudinal plane of motion (i.e., vel\_y1 with vel\_x2). For D4, the primacy was between player 1 absolute velocity with player 2 velocity in the longitudinal plane of motion (i.e., vel\_1 with vel\_x2) (for a detailed analysis of the remaining dyads, please see figure 3).

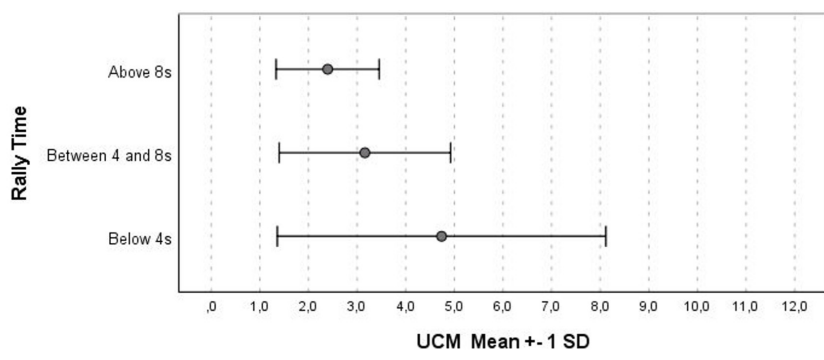


**Figure 5.** Error bars with mean values and standard deviations of the UCM index for the combination of players' positions.

*Changes in the primacy of task elements associated with rally length – exemplar data analysis for Badminton*

Due to the large amount of data, in this section we decided to focus on exemplar data of Dyad 2 (D2). Here, for a single dyad, we focus on how the task elements combinations with primacy may change, on the three time bins.

We split our analysis of the players' displacements in the two axes: i) the longitudinal axis, which was captured with the x coordinates (coordx1, coordx2, vel\_x1-vel\_x2) - these displacements were usually associated with players' offensive movements (i.e., court end-line towards the net displacements) (e.g., players' displacements after a drop and follow up); and ii) the transversal axis, which was captured with the y coordinates (coordy1, coordy2, vel\_y1,



**Figure 6.** Error bars with mean values and standard deviations of the UCM index for the combination of players' velocities.

vel\_y2) - these displacements were usually associated with players' defensive movements (between sidelines displacements), (e.g., one player next to the other slightly behind the center of the court that swing according to the position of a shuttle more or less centered); Additionally, our analysis was also focused on how interpersonal synergies were formed due to players' displacements in both axes. For instance, when one player moved in the longitudinal axis and her/his teammate adjusted her/his position by moving in the transversal axis of motion. These displacements were usually associated with players' transitions between offensive and defensive movements.

### *Court end-line to the net displacements*

Concerning interpersonal synergies formation due to players' displacements between the court end-line and the net (associated with offensive movements), D2 displayed a combination of task elements that had the primacy (52%) for the shortest rallies which were due to players' velocity (i.e., vel\_x1 with vel\_x2). A primacy that was lost in the rallies that lasted from 4 to 8 seconds where the primacy was now due to players' positional adjustments (i.e., coordx1 with coordx2) with 63%. Finally, for the rallies that lasted longer the primacy (56%) was again due to players' velocities (figure 4).

### *Between sidelines displacements*

Players' displacements towards the court sidelines were usually associated with badminton defensive movements. For D2, in the rallies that lasted less than 4 seconds the combination of task elements that had the primacy (44%) to interpersonal synergies formation were due to players' velocities (i.e., vel\_y1 with vel\_y2). However, for the next time bins interpersonal synergies were formed mainly due to players'

positional adjustments (i.e.,  $coordy_1$  with  $coordy_2$ ) with an increase in the primacy values from 51% for time bins from 4 to 8 seconds, and 64% for the rallies that lasted longer than 8 seconds (figure 4).

### *Displacements associated with transitions between offensive and defensive modes*

These transitions were associated with each player's displacements in the two planes of motion.

For both types of offensive-defensive transitions, the primacy prevailed along the three time bins. However, in the first type of transition the primacy was due to combinations of the task elements associated with player 1 velocity in the transversal axis ( $vel_y1$ ) with player 2 velocity in the longitudinal axis ( $vel_x2$ ), whereas for the second type of transition the primacy was due to player 1 positional adjustment in the longitudinal axis ( $coordx1$ ) with player 2 positional adjustment in the transversal axis ( $coordy2$ ) (figure 4).

### *Rallies length and interpersonal synergies strength*

As previously mentioned, for statistical purposes, the outliers of the UCM index in each group (defined by the rally time) were temporarily removed from the files. Table 1 and Table 2 present the mean values, standard deviations, minima and maxima of the UCM index in each time group for both combinations of task elements, that is, players' positions and players' velocities respectively.

The Welch's ANOVA test results for the players' positions revealed that there were significant differences between the UCM index mean values of the groups ( $F_{(2,267,769)} = 56.357, p < 0.001$ ). The subsequent Games-Howell's multiple comparisons showed that there were significant differences between *some pairs* of UCM index mean values ( $p < 0.001$ ), namely the UCM index mean value of the group "Below 4s" was significantly higher than the one of the group "Above 8s", and the UCM index mean value of the group "Between 4s - 8s" was also significantly larger than the one of the group "Above 8s"; there was no significant difference between the UCM index mean values of the groups "Below 4s" and "Between 4s - 8s" ( $p = 0.298$ ). These outputs suggest that the synergies strength (given by the UCM index value) decreases as the rally time increases.

The Welch's ANOVA test results for the players' velocities pointed to significant differences between the UCM index mean values of the groups ( $F_{(2,773,709)} = 126.513, p < 0.001$ ). The succeeding

Games-Howell's multiple comparisons showed significant differences between *each pair* of UCM index mean values ( $p < 0.001$ ), more specifically the UCM index mean value of the group "Below 4s" was significantly higher than the one of the group "Between 4s - 8s", which was in turn significantly larger than the one of the group "Above 8s", therefore the UCM index mean value of the group "Below 4s" was also significantly larger than the one of the group "Above 8s". These outputs reinforce the notion that the synergies strength (given by the UCM index value) decreases as the rally time increases.

## **DISCUSSION AND CONCLUSIONS**

### *General analysis over the primacy combinations of task elements*

Synergies formation is indeed an expression of interpersonal coordination. Our results showed that, in cooperative-competitive tasks where trained performers were constrained to interact to each other, the main question is not the presence or absence of interpersonal synergies, but rather how these synergies were formed. This meets an idea raised by Slomka and colleagues to analyse potential differences on interpersonal synergies formation due to different perceptive coupling between two performers on a jumping task (Slomka et al., 2015).

The results from our study seems to suggest that manifolds from different dimensions (i.e., a positional dimension and a spatiotemporal dimension) may contribute to the formation of the same interpersonal synergy, which brings novelty to this study. So far previous research used a single dimension (player's velocity) to capture interpersonal synergies formation in rugby union (Passos et al., 2018) and badminton (Passos et al., 2020). Making the bridge for synergies features our results suggest that reciprocal compensation (Riley et al., 2011) might occur on different behavioural dimensions, where the prime dimension (positional or spatiotemporal) might be due to the functional specificity of the task at hand (Fusaroli et al., 2014).

However, and perhaps due to the technical and tactical features of each dyad, the created 'portraits' did not display any pattern of interpersonal synergies formation (please see figures 1 to 3). Instead, it was possible to observe that each rally has its own 'portrait' and the sum of all rallies for each dyad and each time bin points towards

an idiosyncratic feature of interpersonal synergies formation, which reinforces the results achieved in previous research with a slackline cooperative task (Montull, Passos, Rocas, Milho, & Balagué, 2021). Additionally, the percentage values indicated that the set of combinations of task elements adopted was always smaller than the total number of possible combinations (i.e., 100%), which means that on each rally an optimization for interpersonal synergies formation to stabilize players interpersonal distance was required (Latash et al., 2008).

For instance, in some rallies, synergies formation was mainly supported on the spatial characteristics of players' displacements to maintain a functional interpersonal distance (please see figure 1-3). Whereas in other rallies, synergies formation required a combination of spatiotemporal characteristics of players' displacements, in other words, to cover 'unprotected' spaces between players it was not only important to be 'in the right' place, but also how fast a player can be 'at the right' place (please see figure 1-3).

For all the portraits displayed there were combinations of task elements that had the primacy over the others. A primacy that changed with the rally length. For instance, for the shortest rally length, the primacy of task elements that led to interpersonal synergies formation were mainly supported by players' spatiotemporal adjustments, that is players' velocities (please see figure 1). For rallies with the mid rally length the primacy was balanced between combinations of players' positional adjustments and combinations of players' velocities (please see figure 2). Finally, for rallies with the highest rally length, a primacy of the spatiotemporal task elements was again displayed, that is, interpersonal synergies were mainly due to adjustments in players' velocities (please see figure 3). These results seem to suggest that the performance of a cooperative-competitive dyadic task in the course of a badminton rally allows several combinations of task elements to achieve the same performance goal.

### *Rally length and changes in the primacy of task elements combinations*

In the results section, the data of dyad 2 was presented as an exemplar analysis that could be extended to the data of the other dyads (available in Appendix 2).

In D2, for the offensive situations, results displayed a primacy of the spatiotemporal dimension in the shortest and longest rallies

(i.e., synergies were mainly formed due to adjustments in players' velocities). In contrast, for the defensive situations, this spatiotemporal dimension only showed primacy in the shortest rallies, whereas, in the longest rallies, the spatial dimension was the one that ruled the interpersonal synergies formation to stabilize players' interpersonal distance. We need to reinforce that this is an analysis of D2 and the other dyads behave differently (please see Appendix 2).

For all the dyads under analysis, we noted that the prime combinations changed due to the time that a rally lasted, but we do not know why it changed (please see figure 4; and appendix 2). It seems lawful to suggest that the primacy changed due to players' responses to task constraints imposed by the opponents' actions. This argument highlights the relevance of players' adaptive behaviours to the formation of soft-assembly interpersonal synergies in the offensive and in the defensive phases of a rally. This means that players' interactive behaviours may have found different combinations of task elements to form interpersonal synergies that allow them to stabilize a desirable interpersonal distance, which could be called as dyadic (or collective) functionality (Kimmel, 2021).

Nevertheless, and again only for D2, it is interesting to note the remaining primacy along the time bins for both offensive-defensive transition situations, which reveal a consistency on the combinations adopted to form a synergy in these specific situations.

For all the dyads under analysis, it was possible to observe this idiosyncratic feature of interpersonal synergies formation, where the combination of task elements with primacy changes due to the time that a rally lasts. Therefore, we may conclude that interpersonal synergies formation is sensitive to how long a performance lasts.

### ***Synergies strength with rally length***

We may conclude that the time that a rally lasts had impact on the strength of synergies.

For both combinations of task elements (i.e., players' positions; players' velocities), the decreasing of synergies strength (given by the UCM index value) with the increasing of the rally length might be explained by the amount of the behavioural adjustments required along a rally. This reinforces the notion that early in the rally is where the constraint of the coach strategic work in anticipating the hits may have more influence. Perhaps a more rigid behaviour influenced by

coach's instructions led to less adaptive behaviours and consequently to high UCM index values.

But the influence of the coach was diluted along the rally. From a certain moment the strategic solutions previously set do not work, and the creativity of the players emerges by exploring different solutions to maintain a goal direct behaviour (Torrents, Balagué, Ric, & Hristovski, 2021). Then match constraints were marked by players' displacements, interpersonal space, flight of the shuttle, and even communication between the teammates that dynamically couple each other during the match. These match constraints drove the players to more adaptive behaviours which led to a decrease in the interpersonal synergies strength.

These results brings back a hypothesis of Black and colleagues regarding the location effect, which suggested that the strength of a synergy may vary along a trial (Black, et al., 2007). A hypothesis that gain consistency on the previous work with badminton dyads where the results displayed different UCM values on different moments of a rally (Passos et al., 2020). Recently a research on a Basketball dribbling task identified different values of the UCM along the dribbling cycle (Robalo, Diniz, Milho, Pitacas, & Passos, 2021). The authors identified UCM values consistent with intralimb synergies formation at the highest part of the dribbling cycle but not on the lowest height, which means that somewhere in the middle of the cycle the synergies were lost and assembled. We said that this hypothesis is gaining consistency because the results were extracted from UCM discrete values and this is a limitation of this method, the output is a single value, so far we do not have a computation that allow us to capture continuous changes in the UCM value during the course of a trial. More research is needed to further explore this hypothesis.

### **Disclosure of Interest**

*The authors report no conflict of interest.*

## REFERENCES

- Allison, P. D. (1999). *Multiple Regression: A Primer* (pp. 142). Thousand Oaks: Pine Forge Press.
- Black, D. P., Riley, M. A., & McCord, C. K. (2007). Synergies in intra- and interpersonal interlimb rhythmic coordination. *Motor Control*, 11(4), 348-373.
- Danna-Dos-Santos, A., Degani, A. M., Zatsiorsky, V. M., & Latash, M. L. (2008). Is voluntary control of natural postural sway possible? [Research Support, N.I.H., Extramural
- Research Support, Non-U.S. Gov't]. *J Mot Behav*, 40(3), 179-185. doi: 10.3200/JMBR.40.3.179-185
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G\*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. [Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Behav Res Methods*, 39(2), 175-191. doi: 10.3758/bf03193146
- Fusaroli, R., Raczaszek-Leonardi, J., & Tylén, K. (2013). Dialog as interpersonal synergy *New Ideas in Psychology*. doi: doi.org/10.1016/j.newideapsych.2013.03.005
- Gelfand, I. M., & Latash, M. L. (1998). On the problem of adequate language in motor control. [Research Support, Non-U.S. Gov't
- Research Support, U.S. Gov't, P.H.S.]. *Motor Control*, 2(4), 306-313. doi: 10.1123/mcj.2.4.306
- Hair, J. F. J., Anderson, R. E., Tatham, R. L. & Black, W. C. . (2010). *Multivariate Data Analysis* (7th ed.): Pearson.
- Kelso, J. A. (2009). Synergies: atoms of brain and behavior. In D. Sternad (Ed.), *A multidisciplinary approach to motor control* (Vol. 629, pp. 83-91). Heidelberg: Springer.
- Kelso, J. A. S. (2017). Principles of Coordination: Synergies of Synergies. In C. Torrents, P. Passos & F. Cos (Eds.), *Complex Systems in Sport, International Congress, Linking Theory and Practice* (pp. 13-16). Barcelona, Spain: Frontiers Media SA.



- Kelso, J. A. S., Buchanan, J. J., DeGuzman, G. C., & Ding, M. (1993). Spontaneous recruitment and annihilation of degrees of freedom in biological coordination. *Phys. Lett. A* (179), 364–371. doi: 10.1016/0375-9601(93)90692-S.
- Kelso, J. S., Tuller, B., Vatikiotis-Bateson, E., & Fowler, C. A. (1984). Functionally specific articulatory cooperation following jaw perturbations during speech: Evidence for coordinative structures. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, 10, 812–832. doi: 10.1037//0096-1523.10.6.812.
- Kimmel, M. (2021). The Micro-Genesis of Interpersonal Synergy. Insights from Improvised Dance Duets. *Ecological Psychology*, 33(2), 106-145. doi: 10.1080/10407413.2021.1908142
- Klous, M., Mikulic, P., & Latash, M. L. (2011). Two aspects of feedforward postural control: anticipatory postural adjustments and anticipatory synergy adjustments. [Comparative Study Research Support, N.I.H., Extramural Research Support, Non-U.S. Gov't]. *J Neurophysiol*, 105(5), 2275-2288. doi: 10.1152/jn.00665.2010
- Latash, M. L. (2010a). Motor synergies and the equilibrium-point hypothesis. [Research Support, N.I.H., Extramural Review]. *Motor Control*, 14(3), 294-322. doi: 10.1123/mcj.14.3.294
- Latash, M. L. (2010b). Stages in learning motor synergies: a view based on the equilibrium-point hypothesis. [Review]. *Hum Mov Sci*, 29(5), 642-654. doi: 10.1016/j.humov.2009.11.002
- Latash, M. L., Gorniak, S., & Zatsiorsky, V. M. (2008). Hierarchies of Synergies in Human Movements. *Kinesiology (Zagreb)*, 40(1), 29-38.
- Latash, M. L., Scholz, J. P., & Schoner, G. (2007). Toward a new theory of motor synergies. *Motor Control*, 11(3), 276-308.
- Montull, L., Passos, P., Rocas, L., Milho, J., & Balagué, N. (2021). Proprioceptive Dialogue - Interpersonal Synergies During a Cooperative Slackline Task. *Nonlinear Dynamics Psychol Life Sci*, 25(2).

- Nordham, C., & Kelso, J. A. (2016). The nature of interpersonal coordination. Why do people coordinate with others? In P. Passos, K. Davids & J. Y. Chow (Eds.), *Interpersonal Coordination and Performance in Social Systems* (pp. 32-52). London & New York: Routledge.
- Passos, P., Lacasa, E., Milho, J., & Torrents, C. (2020). Capturing Interpersonal Synergies in Social Settings: An Example within a Badminton Cooperative Task. *Nonlinear Dynamics Psychol Life Sci*, 24(1), 59-78.
- Passos, P., Milho, J., & Button, C. (2018). Quantifying synergies in two-versus-one situations in team sports: An example from Rugby Union. [Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Behav Res Methods*, 50(2), 620-629. doi: 10.3758/s13428-017-0889-3
- Riley, M. A., Richardson, M. J., Shockley, K., & Ramenzoni, V. C. (2011). Interpersonal synergies. *Frontiers in Psychology*, 2. doi: Artn 3810.3389/Fpsyg.2011.00038
- Robalo, R., Diniz, A., Milho, J., Pitacas, P., & Passos, P. (2021). Are synergies continuously present in cyclical movements? An example with the basketball dribble task. *Hum Mov Sci*, 80, 102883. doi: 10.1016/j.humov.2021.102883
- Scholz, J. P., & Schoner, G. (1999). The uncontrolled manifold concept: identifying control variables for a functional task. *Experimental Brain Research*, 126(3), 289-306. doi: DOI 10.1007/s002210050738
- Slomka, K., Juras, G., Sobota, G., Furmanek, M., Rzepko, M., & Latash, M. L. (2015). Intra-Personal and Inter-Personal Kinetic Synergies During Jumping. *J Hum Kinet*, 49, 75-88. doi: 10.1515/hukin-2015-0110
- Torrents, C., Balagué, N., Ric, Á., & Hristovski, R. (2021). The motor creativity paradox: constraining to release degrees of freedom. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*(2), 340-351. doi: 10.1037/aca0000291

## APPENDIX 1

The UCM was evaluated for each combination of task elements and in time for each trial, assuming linear approximations between small changes in magnitude of the task elements and the performance variable with respect to the reference configuration mean values. The estimate of the Jacobian matrix was obtained using a linear multiple regression based on the methodology presented by Klous and colleagues (Klous, Mikulic, & Latash, 2011), such that:

$$(p^t - p^0) = K_1 \cdot (T_i^t - T_j^0) + K_2 \cdot (T_i^t - T_j^0)$$

$p$ : performance variable

$T_i$  and  $T_j$ : two task elements  $i$  and  $j$  for each possible combination  $i, j$

$t$ : discrete time point ( $t = 1, \dots, N$ , for each trial dimension  $N$ )

$0$ : reference configuration

$K_1$  and  $K_2$ : coefficients of the regression for each trial

The estimated coefficients  $K_1$  and  $K_2$  of the regression correspond to the entries of the Jacobian matrix at the reference configuration for each trial.

Additionally, to validate an UCM index two statistical procedures were required. The first was an ANOVA test, which allows to compare the means of compensated with the uncompensated variance (setting the significance at  $p < 0.05$ ). If there were no statistical differences between the variances that composed the UCM index (i.e., compensated/uncompensated), then the trial was not considered for analysis. The second procedure was to test the multicollinearity among task elements which could bias the UCM index values and thus creating misleading results. Multicollinearity was calculated with the Variance Inflation Factor (VIF) (Allison, 1999), and trials with a VIF  $> 5$  were not considered for analysis (for further details concerning the VIF acceptable values please see (Hair, 2010)).

## Appendix 2

All the figures on this Appendix display the percentage of combinations of task elements that were present in interpersonal synergies formation according to rally duration. coordx<sub>1</sub>, coordy<sub>1</sub>, vel\_x<sub>1</sub>, vel\_y<sub>1</sub> represent the task elements of player 1; coordx<sub>2</sub>, coordy<sub>2</sub>, vel\_x<sub>2</sub>, vel\_y<sub>2</sub> represent the task elements of player 2. The cells with a red background represent combinations of task elements with a primacy that remains along consecutive time bins. The cells with an orange background represent combinations of task elements which do not have primacy in the previous time bin, but acquire that primacy in the current time bin.

Dyad 01						
Time Bins	<4 sec		4_8 sec		>8 sec	
<b>Offensive</b>	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1
coordx2	26		60		48	
vel_x2	59		57		48	
<b>Defensive</b>	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1
coordy2	26		54		52	
vel_y2	44		37		56	
<b>Transition I</b>	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1
coordx2	30		63		72	
vel_x2	59		40		32	
<b>Transition II</b>	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1
coordy2	41		63		56	
vel_y2	44		60		44	

Dyad 02						
Time Bins	<4		4_8		>8	
<b>Offensive</b>	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1
coordx2	48		63		36	
vel_x2	52		60		56	
<b>Defensive</b>	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1
coordy2	33		51		64	
vel_y2	44		34		40	
<b>Transition I</b>	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1
coordx2	44		49		40	
vel_x2	48		57		72	
<b>Transition II</b>	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1
coordy2	52		54		60	
vel_y2	22		43		40	

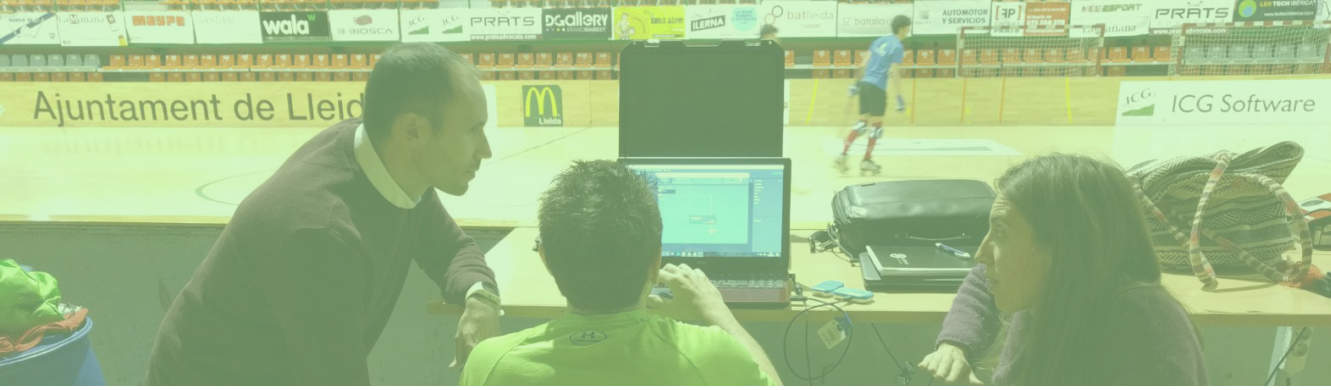
Dyad 03						
Time Bins	<4		4_8		>8	
Offensive	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1
coordx2	13		46		36	
vel_x2		56		57		58
Defensive	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1
coordy2	50		43		61	
vel_y2		31		43		50
Transition I	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1
coordx2	31		54		58	
vel_x2		50		39		64
Transition II	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1
coordy2	50		39		33	
vel_y2		19		43		58

Dyad 04						
Time Bins	<4		4_8		>8	
Offensive	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1
coordx2	38		29		33	
vel_x2		75		54		67
Defensive	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1
coordy2	25		36		56	
vel_y2		31		36		58
Transition I	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1
coordx2	44		18		53	
vel_x2		44		36		36
Transition II	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1
coordy2	50		21		33	
vel_y2		38		43		56

Dyad 05						
Time Bins	<4		4_8		>8	
Offensive	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1
coordx2	43		52		32	
vel_x2		57		45		55
Defensive	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1
coordy2	29		31		52	
vel_y2		29		38		41
Transition I	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1
coordx2	71		38		48	
vel_x2		43		41		55
Transition II	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1
coordy2	14		31		39	
vel_y2		0		41		52

Dyad 06						
Time Bins	<4		4_8		>8	
<b>Offensive</b>	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1
coordx2	43		34		48	
vel_x2		43		41		68
<b>Defensive</b>	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1
coordy2	29		24		52	
vel_y2		71		38		41
<b>Transition I</b>	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1	coordy1	vel_y1
coordx2	43		38		48	
vel_x2		57		31		48
<b>Transition II</b>	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1	coordx1	vel_x1
coordy2	14		24		48	
vel_y2		57		55		55





# PARTE

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

# 3

**Capítulo 11** – Síntesis de los principales hallazgos, aplicaciones prácticas, limitaciones y perspectivas de futuro.

**Capítulo 12** – Conclusiones





### **PARTE III - DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

Todo el esfuerzo y trabajo de personas y instituciones que han posibilitado los estudios mostrados se explica por la inquietud de comprender y explicar el aprendizaje y el rendimiento deportivo. El marco teórico expuesto ofrece una perspectiva rica y unificadora para comprender el comportamiento, tanto de jugadoras/es como de equipos a diferentes niveles, basándose en los principios comunes que comparten diferentes disciplinas de las Ciencias de la Complejidad. Incorpora conceptos e ideas como la auto-organización, la emergencia de comportamientos en interacción del organismo con un contexto, las sinergias, la no-linealidad y la no-proporcionalidad, las affordances o el acoplamiento de la información y la acción (Davids et al., 2014). Desde esta perspectiva, un movimiento no es un patrón o una representación almacenada en el sistema nervioso central a recuperar, sino una relación que cambia de forma dinámica por los constreñimientos del entorno y las capacidades individuales del deportista (Hristovski et al., 2011). Nos parece una perspectiva innovadora para que EFD contribuyan al desarrollo del talento deportivo, destacando los sutiles matices con los que un jugador o una jugadora es capaz de adaptarse a las exigencias del contexto.



# CAPÍTULO 11

Síntesis de los Principales Hallazgos, Aplicaciones Prácticas, Limitaciones y Perspectivas de Futuro.



### *Síntesis de los principales hallazgos, aplicaciones prácticas, limitaciones y perspectivas de futuro.*

El objetivo del primer estudio fue el de analizar el efecto de escalar el espacio de juego, pelota e implemento en el comportamiento de niñas y niños jugadores de pádel. El Pekkepadel surge como respuesta a los problemas obvios que presenta el escalado de un deporte con una estructura de red y muro (cristales) y enrejado como es el caso del pádel. No pretende convertirse en un mini-deporte como los que ya forman parte de la estructura de las competiciones en edad escolar en la mayoría de los deportes. En cambio, puede constituir una propuesta sencilla y barata para que EFD estimulen aprendizajes en escuelas deportivas de pádel en categorías pre-benjamín o benjamín. Y atrevernos, porqué no, a proponerlo en formato small-sided games en cualquier tipología de usuarios de servicios de pádel demandados en los clubes.

El análisis observacional arrojó datos que revelaban un mayor número de golpes en el contexto reducido respecto al campo de 20x10 en el que suelen entrenar y competir las niñas y niños de estas edades. El análisis comparativo pormenorizado por categorías de golpes desveló que, si bien el aumento era insignificante en lo que respecta a los golpes de fondo (derecha y revés directo), casi se triplicaban en los golpes de pared (salidas de pared de derecha y revés, bajadas de pared o contraparedes), cuadruplicaban en los de red (voleas, bandejas) y sextuplicaba en los golpes de definición (remates). Más allá de una diferencia mayor del total de comportamientos, nos parece muy interesante el hecho de que se trate de aumentar el potencial de diversidad de golpes de las y los pequeños jugadores incorporando, además, aspectos representativos de las diferentes fases y principios del pádel.

A pesar de haber tomado como instrumento un sistema de categorías en base a una clasificación de golpes tipificados por el hecho de que el mismo estaba validado y porque nos resultaba interesante para demostrar la eficacia de esta propuesta en el ámbito de la iniciación, no compartimos la idea de la representación de un modelo mental de lo que es una acción hábil (volea de derecha) y la importancia de repetir la misma acción exitosa de forma regular (Araújo y Davids, 2011). Idea que nos podría empujar a un proceso de enseñanza de descomposición de las partes de un todo, para que después pueda ser recuperado cuando la situación lo requiera. Desde la perspectiva dinámico-ecológica en la que se enmarca el CLA, la

adquisición de habilidades aparece de una relación adaptativa y funcional entre un organismo y su entorno. En el caso de estudio, la interacción entre jugadores y una pelota blanda que bota más lenta, una red más baja, una pala más manejable y una distancia menor (y asumible) entre los cristales y la red.

Las aplicaciones prácticas que puede suscitar este estudio van íntimamente unidas a la revisión de las creencias del EFD acerca del aprendizaje de las habilidades. Olvidar la búsqueda de la adquisición de una técnica perfecta para perseguir escenarios que promuevan un mayor número de relaciones funcionales entre el jugador y el entorno. EFD que no prescriben cómo ajustarse al modelo técnico ideal, sino que son capaces de diseñar un escenario que va a ofrecer al alumnado oportunidades de explorar y explotar los entornos de rendimiento facilitando soluciones de movimiento estables pero adaptables (Renshaw et al., 2016). EFD que cuestionan la adquisición de un listado de habilidades propios que detallan algunos manuales deportivos, virando hacia un concepto de adaptación o sintonización del comportamiento que emerge de una relación adaptativa y funcional con un entorno dado (Araújo et al., 2014). Y con ello, contribuir en la transformación de las tareas en competición y en los entrenamientos que proponemos a las y los más jóvenes que se acercan a las escuelas de pádel para disfrutar de este deporte. Si bien nuestro objetivo no era que la Federación Catalana de Pádel lo incluya como mini- deporte, es cierto que en algunos clubes la acogida, ya, ha sido suficientemente interesante como para incluirlas en sus programas e incluso organizar jornadas competitivas con escalado de pistas y material en categoría pre-benjamín.

En coherencia con esta mirada amplia del comportamiento en la que pretendemos caminar, una limitación obvia del estudio la constituye el hecho de haber analizado tan solo los golpes en los juegos reducidos. Sería aún más interesante analizar y estudiar las acciones que se desarrollan en el juego cuando una jugadora no está en situación de golpeo, y aún así, interviene de forma definitiva en el juego finalizando tras “cerrar la red”, por ejemplo. En este sentido, una línea de trabajo futura debería poder desarrollar un instrumento de observación que incorpore las conductas considerando ese rol de jugador/a cuando no golpea, ampliando las propuestas actuales de (Almonacid, 2012; Díaz et al., 2021; Fernández de Ossó, 2019). Otra limitación evidente fue la del escaso número de participantes que puede comprometer la significatividad estadística del análisis.

Concebimos, en la línea que apuntan Renshaw y colaboradores (2019), el Constraint-led approach como un enfoque basado en principios de comportamiento de los sistemas complejos para el aprendizaje de destrezas en todos los deportes y en todos los entornos pedagógicos. De ahí que la oportunidad de comprobar si la tendencia que habíamos constatado en el pekkepadel se corroboraba en un deporte de invasión de estructura funcional de cooperación-oposición simultánea en lugar de alternativa, como el hockey patines, nos pareciera muy oportuna. Ambos deportes también coinciden en que aún hoy en día no existe una propuesta de mini-deporte tan arraigada como pueda estarlo en deportes, de estructura similar, como el fútbol o el balonmano en edad escolar. Como ocurre en el caso del pádel, las dificultades logísticas derivadas de la existencia de una valla en el perímetro de la zona de juego, con la que también se puede interactuar, condicionan la existencia de una propuesta escalada adaptada a la iniciación temprana.

El estudio IIIa presenta el Ok-XS como una propuesta de escalado de campo de juego, portería, stick y pelota adaptada a jugadoras y jugadores de menos de ocho años que se inician al hockey patines. En lugar de un solo espacio reducido, en este estudio abordamos la comparación de los mismos aprendices cuando interactúan en el espacio habitual en el que compiten (40 x 20m.); un espacio reducido pero que mantiene la estructura de 4 vs. 4 + portero (20 x 13m.) y una propuesta de espacio reducido a la vez que número de jugadores (2 vs. 2 + portero en 20 x 10m.). El análisis de los elementos técnico-tácticos individuales totales nos confirmó la hipótesis inicial de que en ambos juegos reducidos el número de acciones aumentó significativamente. Este aumento fue sensiblemente mayor en el caso de la propuesta de reducción de espacio y de número de jugadoras/es. Tendencia que, tal y como se explica en la discusión del estudio IIIa y IIIb, se ve refrendada por numerosas investigaciones previas (Casamichana y Castellano, 2010; B. Silva et al., 2014; P. Silva et al., 2014)

Un análisis situacional más detallado reveló que en las tres fases de análisis (acciones sin pelota, acciones con pelota y fase final de posesión de la pelota; Lasierra, 2017) seguía la misma tendencia. El número de oportunidades de acción que la manipulación de constreñimientos propuesta provocaba en los jugadores era mayor en los juegos reducidos que en el espacio habitual de juego. Y más oportunidades, con diferencias relativas entre acciones, en la situación en que, además de la reducción de espacio, se proponía una

reducción del número de participantes. Nos referimos a diferencias relativas puesto que, si bien en la curva de las gráficas se pueden apreciar claramente, estas muestran apreciaciones muy dispares respecto a la curva del número de acciones total. Las acciones sin pelota difieren sensiblemente de las otras dos categorías. Hallamos la explicación en la acción de disuasión de la recepción, ya que es una acción que suele estar fuertemente condicionada por la consigna del tipo de marcaje definido por el equipo técnico. De haberse propuesto una organización de marcaje individual nominal, las posibilidades de emergencia de comportamientos de disuasión de la recepción hubiesen sido notables. Conecta, sin duda, con una forma de comprender el juego orientada a la idea de recuperar la pelota lo más cerca posible de la portería contraria, en lugar de bajar a defender la portería propia para no recibir un gol. A pesar de que el saque tras gol no se propone desde el centro del campo en el Ok-XS, como sí ocurre en el hockey patines, las niñas y niños no eran capaces de explotar suficientemente esa nueva norma y explorar nuevas posibilidades de acción. Esta propuesta va en la dirección de diversificar en la iniciación, en lugar de buscar la especialización temprana.

Esperamos que estos datos puedan servir en un futuro inmediato para reforzar a EFD de las escuelas de iniciación cuya intuición ya los llevaba a cuestionar algunas tareas basadas en la descomposición y repetición de un gesto técnico ideal, y que estimulen a reflexionar sobre la escasa transferencia de los ejercicios de sombras (repetición de gestos técnicos sin pelota) al juego real (Renshaw y Moy, 2018) a aquellos que aún no se lo plantean. La Federación Catalana de Patinaje ya está organizando algunos encuentros promocionales de Ok-XS con éxito tanto en la participación como en la satisfacción de todos los agentes implicados. Asimismo, hemos podido debatir ya, tanto en el seno de formación de técnicos nivel 1, como con diferentes técnicos de club, algunos de los primeros datos obtenidos en los estudios IIIa y IIIb. La esperanza de contribuir a minimizar la brecha que sigue existiendo entre la teoría y la práctica, entre la ciencia y el campo, nos anima a seguir investigando sobre el resto de diseños de SSG diferentes al del proyecto Ok-XS. También nos parece interesante analizar, como línea de futuro, los datos individuales de diferentes jugadores para comparar si las diferencias en los comportamientos se mantienen, tanto para aquellos jugadores que intervienen más, como para los que intervienen menos (Horst et al., 2020).



Si bien en este estudio se ha incorporado el análisis situacional de acciones de juego sin pelota, en comparación con el estudio I, entendemos una limitación importante el no haber sido capaces de registrar las escalas temporales en que se daban las acciones. Nos podría abrir un escenario de análisis de encadenamientos de comportamientos muy interesante para comprender aún más y mejor el comportamiento de las y los jóvenes aprendices de hockey patines.

A través de los estudios discutidos hasta ahora hemos tratado de aplicar el CLA como un marco útil para el desarrollo deportivo en que concebimos EFD como diseñadores de contextos de interacción jugador-entorno a través de la manipulación de constreñimientos. Si bien en los estudios I y III se ha enfocado el análisis en el comportamiento técnico-táctico, cabe preguntarse acerca de los efectos de los SSG propuestos a través de una metodología CLA en variables fisiológicas o cinemáticas.

En el estudio II, tuvimos la oportunidad de comparar el juego habitual de pádel (2 vs. 2 en 20 x 10m.) con El Cruzadito, un juego en el que limitamos espacios de juego (la mitad de la pista en diagonal) y jugadores (1 vs. 1). Los datos revelaron que el impacto de la demanda fisiológica del jugador no solo mantenía la exigencia del juego real en el juego reducido, tal y como se planteaba en la hipótesis inicial, sino que incluso -mayoritariamente- se observaba ligeramente incrementada. Las variables de frecuencia cardíaca media y máxima reportaron valores de exigencia mayores en el juego reducido que en la situación competitiva de espacio reglamentario en los tres grupos de población (jóvenes, adultos y veteranos). Lo mismo sucedió con el análisis de las distancias totales recorridas, aceleraciones, deceleraciones, velocidad, impactos y carga total de trabajo.

Estos resultados refuerzan la evidencia de que la manipulación de constreñimientos es una herramienta útil tanto para las escuelas deportivas como para el ámbito de rendimiento (independientemente de la edad) que coexisten entre otros servicios de carácter lúdico y social. Esta experiencia me empuja a seguir investigando y analizando diferentes casos de manipulación de constreñimientos, así como compartirlos con el fin de impulsar el avance metodológico en el desarrollo del rendimiento de deportistas que deben adaptarse a las exigencias continuas y cambiantes de los contextos de competición.

En el estudio IIIb también se compararon las variables fisiológicas, cinemáticas y neuromusculares mientras se practica el juego reglamentario de hockey patines y en las dos variaciones propuestas (reducción de espacio y de espacio y participantes). En la línea de lo que observamos en el caso del SSG en pádel, los datos de carga neuromuscular (playerload) (Reche-Soto et al., 2020) fueron similares en los tres casos, aunque sensiblemente superiores en la situación 3 (S3) en que coexistía limitación de espacio y jugadoras/es. Se corroboró así la hipótesis de partida, e incluso los resultados fueron mejores de lo esperados. Lo mismo sucedía en el análisis de la carga fisiológica desde la perspectiva de análisis de la suma de latidos. En cambio, en lo que respecta a las variables de aceleración y desaceleración, solo la situación 2 (reducción de espacio) fue ligeramente más exigente. En el análisis pormenorizado de las distancias por intervalos de velocidades, se observa la enorme variedad que nos puede reportar la combinación de diferentes constreñimientos espaciales (y densidad de jugadoras/es) en el proceso de aprendizaje.

Una de las limitaciones del estudio es que presenta los datos de la frecuencia cardíaca sin considerar la evolución temporal de la respuesta dinámica de la adaptación cardíaca. Los deportes de equipo se caracterizan por una gran alternancia de períodos de trabajo y recuperación de duración e intensidad variables, por lo que una línea de investigación futura podría dirigirse hacia el análisis de respuestas de ritmo cardíaco incluyendo indicadores que tengan en consideración esa relación temporal. Debemos, sin duda, continuar indagando acerca de los efectos de escalar espacios, implementos y pelotas o la cantidad de participantes en la iniciación de los deportes de implemento.

El estudio IV permitió identificar la existencia de sinergias interpersonales entre las parejas de bádminton dobles en una situación de partido. Esto significa que las y los jugadores ajustan su velocidad para estabilizar la distancia interpersonal dentro del valor de referencia. El tamaño de la muestra analizada exige ser extremadamente prudentes en cuanto a la generalización de los resultados, aunque es una línea de investigación novedosa y que puede ser muy relevante para comprender la dinámica coordinativa colectiva de las y los jugadores en deportes de implemento.

En las cuatro parejas analizadas hallamos relaciones interpersonales susceptibles de ser consideradas sinergia al reportar  $UCM > 1$  en, aproximadamente, un 40% del total de intercambios analizados. Además, los datos revelaron que la pareja con más sinergias anotó el 62,9% de los puntos en los intercambios de golpes analizados, mientras que solo el 14,3% de los puntos fueron ganados por la pareja que adoptó otros patrones de coordinación interpersonal (es decir, que tenía menos sinergias). En el 22,8% de los rallies, ninguno de los dobles (o parejas) alcanzó valores de UCM consistentes con la formación de sinergias.

Un análisis de la UCM en diferentes momentos del intercambio de golpes permite identificar las distancias interpersonales con mayores sinergias. Los resultados mostraron que las sinergias más elevadas ( $UCM > 1$ ) se produjeron cuando la distancia interpersonal se situó de media entre 1,5 y 3,5 metros, aunque con diferencias entre las parejas que se detallan en el apartado de resultados del artículo correspondiente.

El estudio nos muestra que, teóricamente, las sinergias pueden hacer que la pareja de bádminton sea más resiliente para superar y evitar perturbaciones externas cambiantes provocadas por los oponentes mediante el uso de ajustes compensatorios. Una distancia interpersonal estable salvaguarda la funcionalidad del doble de bádminton como sistema de movimiento cooperativo durante el juego.

Las aplicaciones prácticas de este estudio van dirigidas, una vez más, a la revisión de la mirada de EFD en tanto que diseñadores de escenarios de aprendizaje y mejora del rendimiento de sus jugadoras y jugadores. Si la fortaleza de la sinergia de la pareja resulta de su capacidad de adaptación, no estimular la variedad, diversidad, o adaptación individual en aprendices, hipotéticamente, va a conducir a una pérdida de funcionalidad del equipo concebido como un sistema. Si una parte del sistema pierde capacidad de adaptación y ajuste al otro, la pareja se va a resentir y no va a ser tan resiliente a las perturbaciones internas y externas que le va a constreñir de forma dinámica y continua. Esto nos lleva a plantearnos futuras líneas de investigación acerca de la importancia de cómo una cierta variabilidad individual pueda contribuir a la capacidad adaptativa del equipo, o qué tipo de escenarios diseñar a través de la manipulación de constreñimientos para estimular a los jugadores a explorar el potencial de diversidad funcional (Hristovski y Balagué, 2020).

Además de la limitación de la muestra utilizada a la que ya hemos hecho referencia, el hecho de que hayamos escogido la distancia de los jugadores en el servicio como valor de referencia, así como la elección de la velocidad de desplazamiento como elemento relevante de la tarea a ajustar y no otras variables, nos dejan muchas otras opciones para investigar en un futuro. De hecho, el estudio V ya constituye un primer paso en esa dirección, puesto que nos propusimos identificar sinergias en base a una combinación de elementos de la tarea susceptibles de adaptarse con el fin de estabilizar un objetivo de rendimiento. Con toda seguridad, un análisis desde esta perspectiva se aproxima más y mejor a la realidad de un juego con tantos grados de libertad como es el del bádminton dobles. Escogimos de nuevo la distancia interpersonal como objetivo de rendimiento, es decir, como variable que los jugadores de dobles de bádminton van a tratar de mantener estabilizada con el fin de no ofrecer espacios y fisuras por donde ser atacados por el equipo rival. En lo que respecta a los elementos relevantes de la tarea se incluyeron variables relacionadas con las posiciones y velocidades de los jugadores en los planos longitudinales y transversales de sus movimientos además de la velocidad total como ya habíamos analizado anteriormente. Estos movimientos se relacionan con situaciones específicas del juego colectivo de las parejas en bádminton dobles como las transiciones ataque-defensa y viceversa, con las basculaciones (relacionadas con los movimientos en el eje de las ordenadas) o situaciones de follow-up (relacionadas con coordinaciones en el eje de las abscisas), entre otras. Desde esta perspectiva los datos mostraron que en cada rally hubo formación de sinergias con una u otra combinación de elementos, corroborando así la hipótesis de estas investigaciones, mientras que en el estudio IV hallamos sinergias en tan solo un 40% aproximado de los rallies. También pudimos constatar, al comparar esos elementos en tres bloques temporales (menos de cuatro segundos, entre cuatro y ocho y más de ocho segundos de juego en el rally), que la dinámica de formación de sinergias es variable y cambiante (Montull et al., 2021).

Las diferencias de las capacidades individuales, que caracterizan a su vez a las distintas parejas de dobles en bádminton, pueden explicar porqué no hallamos un patrón genérico en la formación de sinergias interpersonales. En cambio, la suma de todos los rallies para cada diada y cada intervalo de tiempo sí que apuntaba a unas características propias de unas parejas respecto otras. Incluso al observar esas características a lo largo del tiempo, indicó que unas parejas (la femenina fue un claro ejemplo de ello) se mostraban más

consistentes que otras. Aspectos que apuntan, una vez más, a la relevancia de los comportamientos adaptativos de las y los jugadores para la formación de sinergias interpersonales continuamente tanto en las fases ofensivas como defensivas del juego.

Se vislumbran posibles aplicaciones tanto para la iniciación como para el rendimiento. El análisis de la consistencia (y, por tanto, margen de mejora) de una determinada combinación de elementos (basculación, follow up o transiciones), fuerza y distribución temporal de una diada, desvelaría aspectos a desarrollar a través de la intervención de EFD en el entrenamiento. Es necesaria más investigación para seguir explorando esta hipótesis tanto en situaciones de juego real como de juegos en que deliberadamente EFD manipulen constreñimientos de la tarea. Y superar paulatinamente las limitaciones actuales que nos impiden capturar los cambios continuos en el valor de la UCM durante, por ejemplo, un rally de bádminton dobles o pádel.

Concebir jugadoras, jugadores y equipos como sistemas complejos adaptativos desde una mirada dinámica, compleja y no-lineal puede cambiar por completo algunos aspectos en los que basamos nuestras intervenciones. De la descomposición del gesto al acoplamiento de la acción en interacción con el contexto. De la construcción de la representación mental a la sintonía en la relación con el entorno. Del ajustarnos a una solución ideal a la exploración y diversidad de soluciones funcionales. De centrarnos en el foco interno a recabar más y más información del contexto. De una expectativa lineal a respetar la respuesta no proporcional y la sensibilidad a las condiciones iniciales. De la descontextualización a la representatividad. De la unidireccionalidad a la causalidad circular. Del control de la acción mediado por un agente interno o externo a la auto-organización y la emergencia bajo constreñimientos. De la consideración de un equipo como una suma de individualidades a poner el acento en las posibilidades que emergen de las interacciones. De la repetición al *repetition without repetition*... Es evidente que en esta tesis no presentamos evidencias de cada una de estas afirmaciones, pero el hecho de constatar el aumento del potencial de eficacia del entrenamiento gracias a la manipulación de constreñimientos de la tarea o la formación de sinergias entre las parejas en la mayoría de situaciones del juego son pequeños pasos para la transformación del entrenamiento deportivo en los deportes de implemento.

La intervención en sintonía con una perspectiva dinámica ecológica es mucho más que utilizar SSG o manipular constreñimientos. De hecho, podemos manipular constreñimientos de la tarea para conseguir ajustar respuestas a través de nuestro feedback verbal para que el aprendiz llegue a la respuesta correcta, la que “yo” había previsto...y de alguna manera prescrito. Desde una mirada compleja, en cambio, no solo se acepta que pueda haber diferentes soluciones funcionales imprevistas, sino que se considera que estimular la exploración y la explotación de contextos representativos es una buena forma de aprovechar la metaestabilidad o *degeneracy*<sup>2</sup> de los sistemas complejos adaptativos. Las soluciones van a ser impredecibles y variadas, puesto que van a emerger de la interacción con múltiples elementos de los que los y las EFD no van a poder ejercer todo el control. Constreñimientos de diferentes tipologías, interactuando desde diferentes escalas temporales e interdependientes entre ellos, perturbando el sistema en un momento dado.

Las intervenciones no se diseñan para producir una única respuesta “válida”. No podemos esperar predecir unas respuestas en función de los inputs como si fuéramos expendedores de tareas. Podemos manipular constreñimientos y observar qué sucede en entornos completos, ricos y representativos de práctica. No vamos a poder utilizar métricas simples de evaluación de los aprendizajes, puesto que no van a seguir siempre un camino predecible y proporcional.

Con estos estudios y las aplicaciones que se derivan me he propuesto que sirva para reflexionar sobre las intervenciones pedagógicas de EFD, y que consideren que una mirada compleja, dinámica y no lineal va a contribuir a la necesaria transformación de los escenarios de aprendizajes que diseñamos para tratar de ayudar, cada día más y mejor, a las personas que nos confían sus expectativas.

---

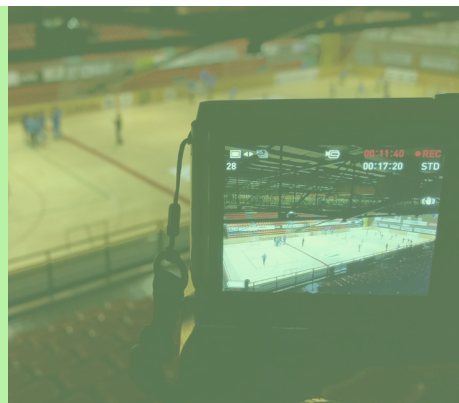
<sup>2</sup> En referencia a la capacidad de participantes y equipos de obtener resultados similares mediante la disposición espacio-temporal de componentes estructuralmente diferentes (Seifert et al., 2016)

---



# CAPÍTULO 12

Conclusiones





## CONCLUSIONES

Objetivo general: Estudiar cómo la concepción de jugadoras, jugadores y equipos de deportes de implemento como sistemas dinámicos complejos transforma la intervención de EFD.

### Objetivo principal 1

**Objetivo específico 1.1:** Analizar el efecto de escalar el espacio de juego, pelota e implemento en el comportamiento de niñas y niños jugadores de pádel.

El comportamiento técnico-táctico de los golpes en pádel incrementó significativamente en los participantes del estudio tanto en golpes de fondo (sensiblemente) y considerablemente en los de pared, red y definición.

**Objetivo específico 1.2:** Comparar los requerimientos fisiológicos, cinemáticos y neuromusculares específicos del pádel en participantes de diferentes edades entre un juego reducido y el juego reglamentario.

Las variables de frecuencia cardíaca media y máxima, distancias recorridas, aceleraciones, deceleraciones, velocidad, impactos y carga total de trabajo reportaron valores de exigencia mayores en el juego reducido que en la situación competitiva en espacio reglamentario en los tres grupos de población. Este hecho sugiere que la modificación de los constreñimientos de la tarea en el sentido que plantea este estudio se trata de una interesante herramienta para EFD en sus intervenciones con jugadores y jugadoras de pádel.

## **Analizar las consecuencias de la modificación de constreñimientos de la tarea en la iniciación de hockey y pádel.**

**Objetivo específico 1.3:** Analizar los efectos de la manipulación del número de jugadoras o jugadores, así como el escalado de la pista en tres situaciones diferentes en los comportamientos técnico-tácticos de jóvenes jugadores en hockey patines.

El comportamiento técnico-táctico en acciones con pelota, sin pelota y de fase final de posesión de la pelota aumentó en las dos propuestas de juegos reducidos respecto de la situación reglamentaria de juego actual.

**Objetivo específico 1.4:** Analizar las consecuencias físicas y fisiológicas que emergen de la modificación de las medidas de la pista y del número de jugadoras/es en el hockey patines en categoría pre-benjamín.

La reducción del tamaño del campo y número de jugadores supone entrenar en una situación contextualizada de alta riqueza informacional con una demanda de carga cardíaca, aceleraciones y deceleraciones mayor que la de la situación reglamentaria del juego actual.

## Objetivo principal 2

**Objetivo específico 2.1:** Capturar sinergias interpersonales basadas en la relación entre la variable de rendimiento y un elemento relevante de la tarea en los rallies de bádminton dobles.

Los datos revelan la aparición de sinergias interpersonales en los jugadores de dobles de bádminton analizados al ajustar su velocidad para estabilizar la distancia interpersonal en valores de referencia.

**Objetivo específico 2.2:** Identificar una combinación de elementos relevantes de la tarea que pueden estabilizar un mismo elemento de rendimiento en parejas de jugadoras y jugadores expertos de bádminton.

Los resultados sugieren que diferentes dimensiones (posicional y espacio-temporal) contribuyen a estabilizar una misma variable de rendimiento (distancia interpersonal) con lo que se identifican sinergias en todos los rallies del partido.

**Analizar la existencia de sinergias funcionales entre las parejas de bádminton dobles al enfrentarse en una situación de partido en un entrenamiento.**

**Objetivo específico 2.3:** Identificar la influencia de la duración del intercambio de golpes en la formación de sinergias en parejas de jugadoras y jugadores expertos de bádminton.

La formación de sinergias interpersonales se muestra sensible a la duración de los rallies, pudiendo variar entre los elementos relevantes de la tarea analizados por debajo de los 4 segundos, entre 4 y 8 o aquellos intercambios que duran más de 8 segundos.

**Objetivo específico 2.4:** Identificar la influencia de la duración del intercambio de golpes en la fuerza de las sinergias en parejas de jugadoras y jugadores de bádminton expertos.

El tiempo que dura el intercambio de golpes para puntuar en un partido de bádminton dobles tiene un impacto disminuyendo la fuerza de las sinergias (mostrando comportamientos menos adaptativos) a medida que se alarga el rally.





# REFERENCIAS

## REFERENCIAS

- Almonacid, B. (2012). *Perfil de juego en pádel de alto nivel*. Universidad de Jaén.
- Araújo, D., & Davids, K. (2011). What exactly is acquired during skill acquisition? *Journal of Consciousness Studies*, 18(3-4), 7-23.
- Araújo, D., y Davids, K. (2016). Team synergies in sport: Theory and measures. *Frontiers in Psychology*, 7(SEP). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01449>
- Araújo, D., Davids, K., y Hristovski, R. (2006). The ecological dynamics of decision making in sport. *Psychology of Sport and Exercise*, 7(6), 653-676. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2006.07.002>
- Araújo, D., Diniz, A., Passos, P., y Davids, K. (2014). Decision making in social neurobiological systems modeled as transitions in dynamic pattern formation. *Adaptive Behavior*, 22(1), 21-30. <https://doi.org/10.1177/1059712313497370>
- Ausubel, D. P., Novak, J. D., y Hanesian, H. (1989). *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. Trillas.
- Balagué, N., Pol, R., y Guerrero, I. (2019). Science or Pseudoscience of Physical Activity and Sport? *Apunts. Educació Física i Esports*, 136, 129-136.
- Balagué, N., Pol, R., Torrents, C., Ric, A., y Hristovski, R. (2019). On the Relatedness and Nestedness of Constraints. *Sports Medicine - Open*, 5(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s40798-019-0178-z>
- Balagué, N., y Torrents, C. (2011). *Complejidad y deporte*. INDE.
- Bastida, A., Gómez, C. D., de la Cruz, E., y Pino, J. (2018). Accuracy, intra- and inter-unit reliability, and comparison between GPS and UWB-based position-tracking systems used for time-motion analyses in soccer. *European Journal of Sport Science*, 1391.
- Batalla, A., Ruíz Pérez, L. M. y Torralba, M. A. (2006). Models teòrics explicatius de l'aprenentatge motor. *Temps d'Educació*, 249-272.
- Bertalanffy, L. V. (1976). *Teoría general de los sistemas*. Fondo de Cultura Económica.

- Black, D. P., Riley, M. A., y McCord, C. K. (2007). Synergies in Intra- and Interpersonal Interlimb Rhythmic Coordination. *Motor Control*, 11(4), 348-373. <https://doi.org/10.1123/mcj.11.4.348>
- Boehnert, J., Penn, A., Barbrook-Johnson, P., Bicket, M., y Hills, D. (2018). *The visual representation of complexity: Definitions, examples & learning points*. November, 3-4. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12496.15369>
- Bonnet, J. P. (1983). *Vers une pédagogie de l'acte moteur. Réflexions critiques sur les pédagogies sportives*. Vigot.
- Bunker, D., y Thorpe, R. (1982). A model for the teaching of games in the secondary school. *Bulletin of Physical Education*, 10, 9-16.
- Buszard, T., Garofolini, A., Reid, M., Farrow, D., Oppici, L., y Whiteside, D. (2020). Scaling sports equipment for children promotes functional movement variability. *Scientific Reports*, 10(1), 3111. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59475-5>
- Casamichana, D., y Castellano, J. (2010). Time–motion, heart rate, perceptual and motor behaviour demands in small-sides soccer games: Effects of pitch size. *Journal of Sports Sciences*, 28(14), 1615-1623. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.521168>
- Clemente, F. M., Afonso, J., y Sarmiento, H. (2021). Small-sided games: An umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. *PLOS ONE*, 16(2), e0247067. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247067>
- Contreras, O., García-López, L., Gutiérrez, D., Del Valle, S., y Aceña, R. (2007). *Iniciación a los deportes de raqueta. La enseñanza de los deportes de red y muro desde un enfoque constructivista*. Paidotribo.
- Davids, K., Araújo, D., Correia, V., Vilar, L., and sport ..., V. C.-E., y 2013, U. (2013). How small-sided and conditioned games enhance acquisition of movement and decision-making skills. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 41(3), 154-161. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e318292f3ec>
- Davids, K., Hristovski, R., Duarte, A., Natalia, B., Button, C., y Passos, P. (2013). *Complex Systems in Sport* (K. Davids, R. Hristovski, D. Araújo, N. Balague Serre, C. Button, y P. Passos (eds). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203134610>



- De Domenico, M., Brockmann, D., Camargo C., Gershenson, C., Goldsmith, D., Jeschonnek, S., Kay, L., Nichele, S., Nicolás, J. R., Schmickl, T., Stella, M., Brandoff, J., Martínez Salinas, A. J., y Sayama, H. (2019). *Complexity Explained*. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/TQGNW>
- Díaz, J., Muñoz, D., Muñoz, J., y Ibáñez, S. J. (2021). Diseño y validación de un instrumento observacional para acciones finalistas en pádel. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 21(81), 197-210. <https://doi.org/10.15366/rimcafd2021.81.013>
- Eiler, B. A., Kallen, R. W., Harrison, S. J., y Richardson, M. J. (2013). Origins of Order in Joint Activity and Social Behavior. *Ecological Psychology*, 25(3), 316-326. <https://doi.org/10.1080/10407413.2013.810107>
- Fajen, B., Riley, M., y Turvey, M. (2008). Information, affordances, and the control of action in sport. *Int. J. Sport Psychol.*, 40, 79-107.
- Fernández-Espínola, C., Abad Robles, M. T., y Giménez Fuentes-Guerra, F. J. (2020). Small-Sided Games as a Methodological Resource for Team Sports Teaching: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(6), 1884. <https://doi.org/10.3390/ijerph17061884>
- Fernández de Ossó Fuentes, A. I. (2019). *Diseño de una herramienta de análisis de indicadores de rendimiento técnico-táctico en pádel: análisis y comparación en diferentes niveles de juego y sexo* [Universidad Pablo de Olavide]. <http://hdl.handle.net/10433/7028>
- Freire, P. (1970). *Pedagogía del Oprimido*. Tierra Nueva.
- Gibson, J. (1979). *The ecological approach to visual perception* (Lawrence E).
- Gonçalves, B., Esteves, P., Folgado, H., Ric, A., Torrents, C., y Sampaio, J. (2017). Effects of Pitch Area-Restrictions on Tactical Behavior, Physical, and Physiological Performances in Soccer Large-Sided Games. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(9), 2398-2408. <https://doi.org/10.1519/JSC.000000000001700>

- Gray, R. (2021). *How we learn to move*. Perception Action Consulting & Education LLC.
- Hacques, G., Komar, J., Dicks, M., y Seifert, L. (2021). Exploring to learn and learning to explore. *Psychological Research*, 85(4), 1367-1379. <https://doi.org/10.1007/s00426-020-01352-x>
- Haken, H. (1977). Synergetics. *Physics Bulletin*, 28(9), 412.
- Hernández Moreno, J. (1994). Hacia un análisis praxiológico del deporte. *Red: Revista de Entrenamiento Deportivo*, 8(2), 5-10.
- Horst, F., Janssen, D., Beckmann, H., y Schöllhorn, W. I. (2020). Can Individual Movement Characteristics Across Different Throwing Disciplines Be Identified in High-Performance Decathletes? *Frontiers in psychology*, 11, 2262. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.02262>
- Hristovski, R. & Balagué, N. (2020). Theory of Cooperative-Competitive Intelligence: Principles, Research Directions, and Applications. *Frontiers in Psychology*, 11, 2220.
- Hristovski, R., Davids, K., Araujo, D., y Passos, P. (2011). Constraints-induced emergence of functional novelty in complex neurobiological systems: A basis for creativity in sport. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, 15(2), 175-206. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21382260>
- Kelso, J. A. S., Buchanan, J. J., DeGuzman, G. C., & Ding, M. (1993). Spontaneous recruitment and annihilation of degrees of freedom in biological coordination. *Physics Letters*, 179(4-5), 364-371.
- Kelso, J. . (1995). *Dynamic patterns: The self-organization of brain and behavior*. (MIT press (ed.)).
- Kelso, J. A. S. (2009). Synergies: atoms of brain and behavior. En S. D. (eds) (Ed.), *Progress in motor control. Advances in Experimental Medicine and Biology* (pp. 83-91). Springer, Boston, MA. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-0-387-77064-2\\_5](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-0-387-77064-2_5)

- Kugler, P. N., Kelso, J. S., & Turvey, M. T. (1982). On the control and coordination of naturally developing systems. En J.A.S.Kelso & J.E Clark (Ed.), *The development of movement control and coordination* (pp. 1-78). John Wiley & Sons, Ltd.
- Larraz, A. (2009). Juegos colectivos con balón. En *Unidades Didácticas EF Primaria*. Gobierno de Aragón.
- Lasierra, G. (2017). *Balonmano: la relación entre los sistemas de juego, los procedimientos colectivos y su eficacia* [Universitat de Lleida]. <https://www.tdx.cat/handle/10803/403463#page=1>
- Latash, M. L., Scholz, J. P., & Schönner, G. (2002). Motor control strategies revealed in the structure of motor variability. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 30(1), 26-31. [https://journals.lww.com/acsm-essr/Fulltext/2002/01000/Motor\\_Control\\_Strategies\\_Revealed\\_in\\_the\\_Structure.6.aspx](https://journals.lww.com/acsm-essr/Fulltext/2002/01000/Motor_Control_Strategies_Revealed_in_the_Structure.6.aspx)
- López Ros, V., & Castejón, F. J. (2005). La enseñanza integrada técnico-táctica de los deportes en edad escolar. *Apunts, Educación Física Y Deportes*, 79(40-48).
- Memmert, D., Hillmann, W., Huttermann, S., Klein-Soetebier, T., König, S., Nopp, S., Rathschlag, M., Schul, K., Schwab, S., Thorpe, R., Furley, P., Almond, L., Bunker, D., Butler, J., Fasold, F., y Griffin, L. (2015). Top 10 research questions related to teaching games for understanding. En *Research Quarterly for Exercise and Sport* (Vol. 86, Número 4, pp. 347-359). <https://doi.org/10.1080/02701367.2015.1087294>
- Méndez Giménez, A. (2009). *Modelos actuales de iniciación deportiva*. Wanceulen.
- Meyers, R. A. (Eds. . (2009). *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*. En R. A. Meyers (Ed.), *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-30440-3>
- Montull, L., Passos, P., Rocas, L., Milho, J., & Balague, N. (2021). Proprioceptive Dialogue-Interpersonal Synergies During a Cooperative Slackline Task. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, 25(2), 157-177. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35466.70087>

- Newell, K. M. (1986). Constraints on the development of coordination. En M. G. Wade y H. T. A. Whiting (Eds.), *Motor development in children: Aspects of coordination and control* (pp. 341-360). Martinus Nijhoff.
- Orth, D., van der Kamp, J., y Button, C. (2019). Learning to be adaptive as a distributed process across the coach–athlete system: situating the coach in the constraints-led approach. *Physical Education and Sport Pedagogy*, 24(2), 146-161. <https://doi.org/10.1080/17408989.2018.1557132>
- Parlebas, P. (2008). *Juegos, deporte y sociedades. Léxico de Praxiología Motriz*. Paidotribo.
- Passos, P., Davids, K., & Chow, J. Y. (Eds. ). (2016). *Interpersonal Coordination and Performance in Social Systems* (P. Passos, K. Davids, y J. Y. Chow (eds.)). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315700304>
- Passos, P. (2016). *Performance Analysis in Team Sports*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315739687>
- Passos, P., Araújo, D., y Davids, K. (2016). Competitiveness and the process of co-adaptation in team sport performance. *Frontiers in Psychology*, 7(OCT). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01562>
- Pol, R., Balagué, N., Ric, A., Torrents, C., Kiely, J., y Hristovski, R. (2020). Training or Synergizing? Complex Systems Principles Change the Understanding of Sport Processes. *Sports Medicine - Open*, 6(1), 28. <https://doi.org/10.1186/s40798-020-00256-9>
- Reche-Soto, P., Cardona, D., Díaz, A., Gómez-Carmona, C., y Pino-Ortega, J. (2020). Acelt and player load: Two variables to quantify neuromuscular load. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 20(77), 167. <https://doi.org/10.15366/rimcafd2020.77.011>
- Renshaw, I., Araújo, D., Button, C., Chow, J. Y., Davids, K., y Moy, B. (2016). Why the Constraints-Led Approach is not Teaching Games for Understanding: a clarification. *Physical Education and Sport Pedagogy*, 21(5). <https://doi.org/10.1080/17408989.2015.1095870>

- Renshaw, I., y Chow, J.-Y. (2018). A constraint-led approach to sport and physical education pedagogy. *Physical Education and Sport Pedagogy*, 24(2), 103-116. <https://doi.org/10.1080/17408989.2018.1552676>
- Renshaw, I., Davids, K., Newcombe, D., y Roberts, W. (2019). *The Constraints-Led Approach: Principles for sports coaching and practice design*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315102351>
- Renshaw, I., y Moy, B. (2018). A Constraint-Led Approach to Coaching and Teaching Games: Can going back to the future solve the «they need the basics before they can play a game» argument? *Ágora para la Educación Física y el Deporte*, 20(1), 1-26. <https://doi.org/10.24197/aefd.1.2018.1-26>
- Ric, A. (2017). *La complejidad en el fútbol: dinámica exploratoria y emergencia de comportamiento táctico*. <https://www.tdx.cat/handle/10803/404150#page=1>
- Riley, M. A., Richardson, M. J., Shockley, K., y Ramenzoni, V. C. (2011). Interpersonal Synergies. *Frontiers in Psychology*, 2, 38. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00038>
- Romero, V., Kallen, R., Riley, M. A., y Richardson, M. J. (2015). Can discrete joint action be synergistic? Studying the stabilization of interpersonal hand coordination. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 41(5), 1223-1235. <https://doi.org/10.1037/xhp0000083>
- Ruiz Perez, L. M. (2003). Competencia motriz, dinamismo y complejidad en Educación Física. Parte I. RETOS. *Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, 5, 39-43.
- Schmidt, R. C., Fitzpatrick, P., Caron, R., & Mergeche, J., Schmidt, R. C., Fitzpatrick, P., Caron, R., Mergeche, J., y Schmidt, R. C., Fitzpatrick, P., Caron, R., & Mergeche, J. (2011). Understanding social motor coordination. *Human Movement Science*, 30(5), 834-845. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2010.05.014>
- Seifert, L., Komar, J., Araújo, D., y Davids, K. (2016). Neurobiological degeneracy: A key property for functional adaptations of perception and action to constraints. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 69, 159-165. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.08.006>

- Silva, B., Garganta, J., Santos, R., y Teoldo, I. (2014). Comparing Tactical Behaviour of Soccer Players in 3 vs. 3 and 6 vs. 6 Small-Sided Games. *Journal of Human Kinetics*, 41(1), 191-202. <https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0047>
- Silva, P., Aguiar, P., Duarte, R., Davids, K., Araújo, D., y Garganta, J. (2014). Effects of Pitch Size and Skill Level on Tactical Behaviours of Association Football Players during Small-Sided and Conditioned Games. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 9(5). <https://doi.org/10.1260/1747-9541.9.5.993>
- Soto, A., Camerino, O., Iglesias, X., Anguera, M. T., y Castañer, M. (2019). LINC PLUS: Research Software for Behavior Video Analysis. *Apunts Educació Física i Esports*, 137(137), 149-153. [https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2019/3\).137.11](https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2019/3).137.11)
- Turvey, M. T., Fitch, H. L. & Tuller, B. (1982). The Bernstein's perspective: The problem of degree of freedom and context-conditioned variability. En J. A. S. (ed. . Kelso (Ed.), *Human Motor behavior. An introduction*. (pp. 239-252). Lawrence Erlbaum Associates.
- Vigotsky, L. S. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Grijalbo.





# APÉNDICE





## **AGRADECIMIENTOS**

Léelo, por favor, lentamente, con sosiego. Sabes que “TE” lo digo desde lo más profundo de mi ser. O quizá mejor empieza a canturrearla mientras dejas que tus pies y caderas cobren vida y nos emocionamos juntos de haber compartido camino en este maravilloso regalo que es vivir...

---



Eso que tú me das es mucho más de lo que pido.  
Todo lo que me das es lo que ahora necesito.

Eso que tú me das no creo lo tenga merecido  
Todo lo que me das te estaré siempre agradecido.

Así que gracias por estar.  
Por tu amistad y tu compañía.  
Eres, tú, lo mejor que me ha dado la vida.

Por todo lo que recibí estar aquí vale la pena.  
Gracias a ti seguí remando contra la marea.

Con todo lo que recibí ahora sé que no estoy solo  
Ahora te tengo a ti, amigo mío, mi tesoro.

Así que gracias por estar, por tu amistad y tu compañía.  
Eres lo, lo mejor que me ha dado la vida.

Todo te lo voy a dar, por tu calidad, por tu alegría.  
Me ayudaste a remontar, a superarme día a día.

Todo te lo voy a dar, fuiste mi mejor medicina  
Todo te lo daré, sea lo que sea, lo que pidas.

Y eso que tú me das... es mucho más de lo que nunca te he pedido  
Todo lo que me das...es mucho más de lo que nunca he merecido

Pau Donés i Cirera (1966 – 2020)

¡Sois tantas y tantos “tú”! Me siento tan, tan afortunado...

**Gracias** por tanto a cambio de tan poco.

**Gracias** por creer en mí más que yo mismo.

**Gracias** por inspirarme, estimularme a seguir creciendo y aprendiendo.

**Gracias** por no dejarme abandonar. Por ayudarme generosamente a rehacerme una vez más.

**Gracias** por permitirme acompañarte en el camino y confiar en qué te podía ser de ayuda.

**Gracias** por tanto cariño. Por tanta estima. Hacéis que estar aquí valga la pena.

Todo eso que me habéis regalado y que me continuáis ofreciendo día a día es, sin duda, ... mucho más de lo que nunca he merecido.



## **CUADERNO DE APRENDIZAJE**

Investigador en formación – Tiempo parcial:

**Enrique Lacasa Claver**

Programa de doctorado: Activitat Física i Esport (1308)

Universitat de Lleida. INEFC

Período: 20/10/2017 – 28/01/2023

Actividades formativas acreditadas y evaluadas por la Comisión de Doctorado a través de sesiones presenciales de seguimiento.

Actividad formativa	Período	Carga horaria
<b>AF1 - Búsqueda y gestión de fuentes documentales (15 – 50 h)</b>		
Enfocar y acotar la búsqueda de literatura específica en ciencias de la complejidad, sistemas dinámicos y pedagogía no-lineal	2017	10 h
Scopus. Nivel básico	2018	1 h
Curso: Gestión y consulta no presencial de fuentes documentales	2018	4 h
Errores comunes y recomendaciones al aplicar las normas APA en trabajos científicos	2019	2 h
Ciència oberta: Publicacions i dades de recerca en obert. (U1093)	2019	4 h
Nuevas tendencias de la investigación en Educación Física y Deportes	2019	1,5 h
Enfocar y acotar la búsqueda de literatura específica alrededor de los conceptos Ecological Dynamics i constraints-led approach	2019	15 h
<b>AF2 – Análisis y discusión de artículos y trabajos científicos (32 – 47 h)</b>		
Synergies formation and player affordances in sports	2017	14 h
Tactical creativity in team sports	2017	2,5 h
Sesiones internas del grupo de investigación CSS de reflexión y análisis de la literatura científica	2019	12 h
Sesiones periódicas de debate en el seno del grupo de investigación Complex System in Sports alrededor de las producciones de los miembros en formato presencial y virtual sincrónico.	2020	14 h
<b>AF3 – Cursos de formación específica (30 – 60 h)</b>		
Jornada oberta de presentacions de projectes del Grup de recerca Sistemes Complexos i Esport	2016	3 h
Técnico deportivo Bádminton Nivel 1	2017	50 h
International Coach Level 1	2017	10 h
Auxiliar de pista Bádminton	2017	5 h
Estrategias para mejorar la escritura de artículos científicos en el ámbito de la Educación	2017	6 h
Captura y análisis con dispositivos WIMU y software SVivo y SPro	2017	10 h
El proceso de tesis doctoral en el INEFC (Workshop)	2019	5 h

Actividad formativa	Período	Carga horaria
Aplicación práctica del software libre Lince Plus en la metodología observacional	2019	4 h
Interpretación y presentación de datos estadísticos: ¿cómo presentar correctamente una tabla resumen de resultados descriptivos?	2020	4 h
Taller Excel	2020	2 h
Taller: ¿Cómo elaborar un póster científico?	2021	1,5 h
Introducción a la metodología de la encuesta y programa de recopilación de datos Kobotoolbox	2021	4,5 h
Taller práctico: Tutorial uso de los dispositivos inerciales WIMU Realtrack System	2021	3 h
<b>AF4 – Presentaciones de laboratorios, de grupos de investigación (30 – 60 h)</b>		
Jornada oberta de presentacions de projectes del Grup de recerca Sistemes Complexos i Esport	2016	3 h
Jornada Grup de Recerca Sistemes Complexos i Esport (2017 SGR 1637) (Dr. Hristovski, Montserrat)	2018	8 h
Encuentro Grup de Recerca Sistemes Complexos i Esport (2017 SGR 1637) (Vilallobent). Presentación comunicación: Capturing Synergies in Badminton.	2018	14 h
Seminari del Grup de Recerca Sistemes Complexos i Esport (Cretas) Presentació comunicació ¿Solo somos dos! ¿Abortamos partido de pádel o hacemos un “crusaito”?	2019	16 h
I Encontre dels Grups de Recerca de l'INEFC Centre de Lleida	2019	3 h
Seminario 2021. Grup de Recerca Sistemes Complexos i Esport (2017 SGR 1637) (Binaced) Presentación comunicación: Descubre el Hockey “XS”	2021	16 h
<b>AF6 – Asistencia y participación en fóruns científicos (3 asistencias/participación)</b>		
II Congreso Nacional de Investigación en Pádel (Premi millor comunicació oral)	2017	20 h
V Jornades de Complexitat	2017	4 h
Comunicació format pòster VII Jornades Científiques INEFC-Lleida. Profe! Montamos el campo de minipádel	2017	5 h
I Jornadas Científicas sobre Complejidad y Deporte en la Universidad Fernando Pessoa (Canarias). Conferencia: La creatividad motriz como fenómeno complejo.	2017	30 h



Actividad formativa	Período	Carga horaria
Congress “Linking Theory and Practice” hosted by Barça Innovation Hub	2017	20 h
VIII Jornades Científiques INEFC-Lleida. Exposició póster: Capturing Interpersonal Synergies on Badminton	2018	15 h
Annual Congress Complex System. Thessaloniki. Comunicació: Capturing Interpersonal Synergies in Badminton Doubles.	2018	30 h
Comunicació format Pechakucha a la II Jornada Catalana de Recerca	2019	11 h
3r Congreso Internacional de Educación Física y Entrenamiento Deportivo UNIMO 2019. Universidad Monter. Morelia, Miochacan, Méjico. Conferenciante y Taller Teórico Práctico (Proceso de enseñanza-aprendizaje desde el paradigma de la complejidad / Taller: “constraints-led approach”	2019	30 h
I Jornades Innovació en el Fútbol Formativo. Ponència (45’) i Taller pràctic (50’): La formación transdisciplinar en el Fútbol Base Gáldar.	2019	25 h
IX Jornades Científiques de l’INEFC. Exposició del póster titulat Ep! Ens en falta un! Ho deixem o fem un” creuat”?	2019	15 h
Attendance & Oral Presentation. 30th FIEP World Congress. Barcelona. Comunicació: We are without two padel players. Abort or shall we play a crossover game? Contribució en una segunda comunicació acceptada: Adaptation of pitch-size in young roller hockey competition	2019	30 h
VI Convención Internacional de Cultura Física y Deporte 2M20. Organiza: CPLED. Zacatecas. México. Conferencia. Enseñar... ¿o diseñar escenarios de aprendizajes?	2020	40 h
11 Congreso Mundial Online Deporte y Educación Física. Organiza: Colegio Profesional de Licenciados en Entrenamiento Deportivo. México. Comunicació: Un mundo complejo... ¿no requiere una mirada compleja, dinámica y no lineal?	2020	32 h
X Jornades Científiques de l’INEFC	2021	5 h
I Congreso Virtual Internacional en Entrenamiento, Pedagogía y Actividad Física para la Salud. UTS-Colombia. Ponencia (45’)	2021	40 h
Sport Sciences Congres – Faculdade Motricidade Humana Lisboa. Presentación comunicació: Descubre el Hockey “XS”	2021	10 h

Actividad formativa	Período	Carga horaria
<b>AF7 – Estancia formativa (3 semanas)</b>		
Estada Formativa: ViRVIG - Grup de Recerca en Visualització, Realitat Virtual i Interacció Gràfica. UPC. Invitació: Dr. Carlos Andújar.	2019	10 días
Estada Formativa: Laboratory of Biological Networks (URJC-UPM) Complex System Group & GISC (URJC). Invitació: Dr. Javier Martin Buldú.	2021	14 días
<b>AF8 – Elaboración y publicación de un artículo científico (mínimo 1 artículo)</b>		
Lacasa, E., Orteu, E., Gabriel, E., Torrents, C. y Salas, C. (2017) Las situaciones reducidas de juego como constreñimiento de la tarea en la iniciación al pádel para niños de seis a diez años. Revista Andaluza de Medicina del Deporte. 24(3), 161. <a href="https://doi.org/10.1016/j.ramd.2016.06.010">https://doi.org/10.1016/j.ramd.2016.06.010</a>	2017	
Passos, P., Lacasa, E., Milho, J., & Torrents, C. (2020). Capturing Interpersonal Synergies in Social Settings: An Example within a Badminton Cooperative Task. <i>Nonlinear dynamics, psychology, and life sciences</i> , 24(1), 59-78.	2020	
Canton, A., Lacasa, E., Brufau, I., Ensenyat, A., & Torrents, C. (2020). Hockey Patines “XS”: ¿Afecta Sobre la Carga en Iniciación? <i>Revista de Psicología del Deporte</i> , 29(2), 124-132.	2020	
Lacasa Claver, E., Salas Santandreu, C., & Torrents Martín, C. (2021). Pádel: una mirada compleja, dinámica y no lineal en la iniciación deportiva y el entrenamiento. <i>Retos. Nuevas tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación</i> , 41, 354-361. <a href="https://doi.org/10.47197/retos.voi41.81320">https://doi.org/10.47197/retos.voi41.81320</a>	2021	
Javadiha, M., Andujar, C., Lacasa, E., Ric, A., & Susin, A. (2021). Estimating Player Positions from Padel High-Angle Videos: Accuracy Comparison of Recent Computer Vision Methods. <i>Sensors</i> , 21(10), 3368. <a href="https://doi.org/10.3390/s21103368">https://doi.org/10.3390/s21103368</a>	2021	

# INFORMACIÓN PARA LAS FAMILIAS



*“Creativitat i emergència d’accions motrius específiques en la iniciació esportiva al Pàdel pels infants en categoria benjamí”.*



Apreciados padres y madres,

Desde el Instituto Nacional de Educación Física de Catalunya (INEFC), en colaboración con la Universitat de Lleida, y la Escuela de Pádel Ekke de Lleida, queremos realizar un estudio que persigue mejorar los procesos de enseñanza aprendizaje de vuestros hijos. Concretamente, queremos estudiar el efecto que tiene la utilización de un juego de pádel adaptado en espacios, implemento, pesos y tamaños en la mejora del rendimiento de nuestros jugadores, desde la perspectiva, técnica, de exigencia física o del desarrollo de la inteligencia táctica.

Con este fin, y durante tres sesiones en el horario habitual de entrenamiento en la escuela de pádel Ekke, propondremos a los niños y niñas participantes que jueguen un partido a 9 juegos en cada una de las modalidades: pádel en pista real (20x10m) y mini pádel en pista, pala, red y pelota adaptada (10x6m).

Durante el juego se les grabará con una cámara de vídeo y posteriormente se analizarán las grabaciones mediante herramientas propias de los estudios observacionales. Las grabaciones solo se utilizarán para fines propios de la investigación. También llevarán un acelerómetro en la cintura, para cuantificar de forma objetiva la actividad física realizada. Los acelerómetros son dispositivos que valoran el desplazamiento del cuerpo (aceleraciones e inclinaciones), y permiten también conocer las calorías gastadas, el número de pasos, los niveles de intensidad de la actividad, y la posición de la persona (tumbada o no). En este estudio utilizaremos el Actigraph GT3X, que es un dispositivo sencillo y cómodo de colocar y llevar. Es pequeño y pesa poco, no lleva cables y se coloca con un cinturón. Es seguro y ha estado ampliamente utilizado tanto en población infantil como adulta. Por último solicitaremos que rellenen un test (POMS) que nos pueda ayudar a conocer sus estados de ánimo al jugar en una u otra modalidad.

Solicitamos su colaboración para dar el consentimiento para que sus hijos e hijas participen en el estudio. Para ello, deben firmar la hoja de consentimiento informado adjunta. Si tienen alguna duda al respecto, pueden llamarnos a los teléfonos abajo indicados o solicitar una entrevista en que podamos detallar y solucionar cualquier tipo de duda que les pueda generar.

Les agradecemos mucho su colaboración, ya que es esencial para obtener datos de calidad que ayuden a avanzar los conocimientos científicos para la salud y la educación.

Dra. Carlota Torrents i Dr. Cristòfol Salas  
INEFC Lleida- 973 27 20 22

Enric Lacasa Claver  
Ekke Pàdel - 670 60 48 67

# DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

## DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

D. ...., de .... años de edad y con DNI nº ....., padre/madre o tutor/a de .....manifiesto que he sido informado sobre el procedimiento a seguir en el Proyecto de Investigación "*Creativitat i emergència d'accions motrius específiques en la iniciació esportiva al Pàdel pels infants en categoria benjamí*" y que entiendo mis derechos. He podido hacer preguntas sobre el estudio y entiendo que mi participación es voluntaria.

### Procedimiento:

- Se propondrá a los niños que jueguen dos partidos consecutivos de pádel a 9 juegos, uno en formato de pista de pádel 20x10m y otro en pista de "pekkepadel" de 10x6m.
- Durante la práctica, los niños llevarán un acelerómetro en la cintura, para valorar el desplazamiento del cuerpo mientras juegan.
- Las tareas se grabarán en vídeo para su análisis posterior. Los vídeos se utilizarán únicamente para fines propios de la investigación.
- Contestarán a las preguntas de un cuestionario estándar (POMS) de valoración del perfil de estado de ánimo.
- Se analizarán las acciones motrices que realizan los niños, conductas tácticas, estados emocionales, y se cuantificará la actividad física realizada.

### Derechos:

- El participante puede abandonar el estudio en cualquier momento sin que esto le suponga ningún perjuicio y sin tener que dar explicaciones.
- Para clarificar cualquier duda podrá dirigirse en cualquier momento a cualquiera de los Investigadores (Dra. Carlota Torrents; Dr. Cristòfol Salas; Enric Lacasa).

### Equipo Investigador:

- Dra. Carlota Torrents (Investigadora Principal). Teléfono: 973 27 20 22
- Dr. Cristòfol Salas (Investigadora Principal). Teléfono: 93 27 20 22
- Lic. Enric Lacasa. (Coordinació Escoles Esportives Ekke) Tel. 670 60 48 67

He sido también informado de que mis datos personales serán protegidos e incluidos en un fichero que deberá estar sometido a las garantías de la ley 15/1999 de 13 de diciembre (Ley Orgánica de Protección de Datos).

Tomando ello en consideración, OTORGO mi CONSENTIMIENTO a que se realicen las pruebas necesarias para cubrir los objetivos especificados en el proyecto.

....., a ..... de ..... de 20.

*Firma del Padre/madre o tutor/a*

*Firma Investigador/es Principal/es*

- o Manifiesto mi voluntad de abandonar el estudio (revoca el consentimiento):

Fecha: ..... de ..... de 20.....

*Firma del Participante*

*Firma Investigador/es Principal/es*

# CERTIFICADO COMITÉ ÉTICO - GENERALITAT CATALUNYA



Dr. RAMON BALIUS MATAS, DE LA UNITAT DE MEDICINA DE L'ESPORT I SALUT DEL CONSELL CATALÀ DE L'ESPORT, ACTUANT COM SECRETARI DEL COMITÈ D'ÈTICA D'INVESTIGACIONS CLÍNiques DE L'ADMINISTRACIÓ ESPORTIVA DE CATALUNYA

CERTIFICA

Que en la reunió realitzada el dia 6 de juny 2018, aquest Comitè d'Ètica acordà avaluar favorablement el projecte presentat la Sra. Carlota Torrents, titulat "La creativitat motriu com a fenomen complex: criteris per al seu desenvolupament" (nº expedient: 09-2018-CEICGC).

Faig constar aquesta avaluació favorable als efectes oportuns.

Esplugues de Llobregat, 6 de juny de 2018.

**Dr. Ramon Balius i Matas**  
Metge especialista en Medicina de l'Esport  
Col·legiat 23.684 (Barcelona)  
Centre de Medicina de l'Esport  
Consell Català de l'Esport

**Dr. Ramon Balius Matas**  
Secretari CEICGC



Generalitat de Catalunya  
Consell Català de l'Esport  
Unitat de Medicina de l'Esport  
Av. Països Catalans, 40-48  
08950 Esplugues de Llobregat

# CERTIFICADO COMITÉ ÉTICO - INSTITUT CATALÀ DE LA SALUT



El Comitè d'Ètica d'Investigació Clínica en la reunió de 25 d'agost, acta 9/2016, ha aprovat l'esmena "**Creativitat i emergència d'accions motrius específiques en la iniciació esportiva al Pàdel pels infants en categoria benjami**", de l'estudi aprovat el 27 d'agost de 2015, acta 8/2015, i que porta per títol: "**La creativitat i l'emergència d'accions motrius en l'activitat física i l'esport. Aplicacions en diferents pràctiques i grups de població**", i ha considerat que:

- Es compleixen els requisits necessaris d'idoneïtat del protocol en relació als objectius de l'estudi i que estan justificats els riscos i molèsties previsibles pels subjectes participants.
- La capacitat dels investigadors i els mitjans de què disposen són apropiats per a portar a terme l'estudi.
- És adequat el procediment per a obtenir el consentiment informat dels subjectes que participen a l'estudi.

Lleida, 16 de setembre de 2016



Joan Antoni Schoenenberger Arnaiz  
president

