

VNIVERSITAT Đ VALÈNCIA
(Đ) Facultat de Ciències de la Activitat Física i l'Esport

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS
DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL DEPORTE**



**“CARACTERIZACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE NADO A
TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE LA ACELERACIÓN EN 3D”**

TESIS DOCTORAL

Presentada por:

D. Jorge Mateu Sanz

Co – Directores:

Dr. D. Víctor Tella Muñoz

Dr. D. Joaquín Madera Gil

Dr. D. Jose Miguel Saavedra García

Valencia, 2015

Dr. D. Víctor Tella Muñoz, Profesor Titular de la Universitat de València, adscrito al Departamento de Educación Física y Deportiva.

Dr. D. Joaquín Madera Gil, Profesor Asociado de La Universitat de València, adscrito al Departamento de Educación Física y Deportiva.

Dr. D. Jose Miguel Saavedra García, Profesor Titular de la Universidad de Extremadura, adscrito al Departamento de Didáctica de la Expresión Musical, Plástica y Corporal de la Facultad de Ciencias del Deporte.

CERTIFICAN:

Que el presente estudio planteado como una “Caracterización de las técnicas de nado a través del análisis de la aceleración en 3D” ha sido realizado bajo su dirección en el Departamento de Educación Física y Deportiva de la Universitat de València, por Jorge Mateu Sanz, para optar al grado de Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.

Autorizan el depósito de esta tesis según lo previsto en la normativa, para su defensa ante el tribunal correspondiente.

Informando que la presente Tesis Doctoral ha sido realizada dentro del programa de doctorado: “987-122A, en el departamento Educación Física y Deportiva”, y que cumple los requisitos necesarios de calidad y originalidad para su defensa.

Fdo. Dr. D Víctor Tella Muñoz

Fdo. Dr. D Joaquín Madera Gil

Fdo. Dr. D Jose Miguel Saavedra García

Valencia, 27 de Julio de 2015.

Culminando el final de este proceso, es el momento de resaltar mi agradecimiento a todas aquellas personas que de una u otra forma han sido partícipes de esta aventura, haciendo posible que el proyecto inicial se haya visto convertido en la presente tesis doctoral.

En primer lugar debo mencionar a mi primera elección como director de la tesis, el Dr. D. Víctor Tella Muñoz, sin cuya orientación, ayuda e incluso apoyo moral en algunos casos, la conclusión de este trabajo habría sido una empresa bastante ardua, además de su importante dedicación en mi tutorización.

Al Dr. D. Joaquín Madera Gil por sus conocimientos específicos sobre la aceleración en los estilos de nado, su revisión al marco teórico, y especialmente a su apoyo informático, tanto en el dominio de las bases de datos, como de los formatos más adecuados.

Al Dr. D. Jose Miguel Saavedra García por su propuesta de análisis estadístico, apoyo final a la hora de trabajar con los datos obtenidos, y valorar más opciones, cogiendo una perspectiva mayor.

Al Dr. D. Luis Millán González Moreno, Profesor Titular de la Universitat de València, adscrito al Departamento de la Actividad Física y Deportiva; junto a su antiguo Doctorando D. Xavier García Massó, componente activo en diversas investigaciones, y parte importante a la hora de preparar la metodología.

Y en general, al personal de la Universitat de València, por permitirme, facilitarme, y ayudarme en la utilización de parte del material necesario para la recogida de datos, y el desarrollo de la mejora en la evaluación de los estilos en natación. Adjunta a esta institución colabora la Piscina de Abastos, lugar de algunos ensayos.

A los nadadores de los diferentes clubes participantes en el estudio (sus entrenadores, sus instalaciones,...), el Club de Natación Castalia Castellón, el Club de Natación Aquatic Castellón, y al Club de Natación y Salvamento Sirenas Catarroja, que se prestaron como sujetos experimentales, ya que sin ellos el estudio no habría llegado a su fin.

En especial, y de manera más sentida, debo agradecer el apoyo a Tere, mi pareja, ya que ella ha sido quien ha hecho posible dar a luz este trabajo, ayudándome en mis momentos más difíciles y pasando por alto mi ausencia en los suyos propios.

Y por último, daré gracias toda mi vida por la llegada de Jose, nuestro hijo, quien ha dado forma a la familia Mateu Moreno, y que ha aportado la motivación final extrínseca necesaria para culminar este proceso, así como la plenitud en nuestras vidas.

ÍNDICE GENERAL

PREÁMBULO.....	25
1. INTRODUCCIÓN.....	29
1.1. – Movimientos propulsivos y coordinación en los estilos de natación	30
1.1.1. Estilo mariposa.....	30
1.1.2. Estilo espalda	33
1.1.3. Estilo braza	35
1.1.4. Estilo libre.....	37
1.2. Caracterización cinemática de las acciones cíclicas de nado.....	40
1.2.1. Frecuencia de ciclo.....	42
1.2.2. Longitud de ciclo	45
1.2.3. Índice de ciclo	46
1.2.4. Índice de coordinación	46
1.2.5. Velocidad intraciclo	47
1.3. Aceleración	51
1.3.1. Metodología para el análisis de los registros de aceleración.....	51
1.3.2. La aceleración como resultante de los diferentes estilos de nado	66
1.4. Epílogo sobre la aceleración	81
2. OBJETIVOS.....	87
3. METODOLOGÍA	91
3.1. Diseño	91
3.2. Sujetos.....	92
3.3. Instrumental empleado.....	93
3.3.1. Instrumentos para obtener los datos antropométricos	93
3.3.2. Instrumentos para registrar la aceleración	93
3.3.3. Instrumentos para registrar la velocidad y la frecuencia de ciclo	95
3.4. Procedimiento.....	95
3.4.1. Recogida de datos básicos y antropometría.....	96

Índice General

3.4.2. Protocolo de calentamiento.....	96
3.4.3. Protocolo de colocación del instrumental.....	96
3.4.4. Medición de los parámetros cíclicos de nado, y de la aceleración	97
3.5. Análisis de datos.....	98
3.5.1. Análisis de las variables cíclicas de nado	98
3.5.2. Análisis de las variables de la aceleración.....	99
3.6. Análisis estadístico	101
4. RESULTADOS	109
4.1. Perfiles de aceleración en cada uno de los estilos	109
4.1.1. Perfiles de aceleración en el estilo mariposa	110
4.1.2. Perfiles de aceleración en el estilo espalda.....	111
4.1.3. Perfiles de aceleración en el estilo braza.....	112
4.1.4. Perfiles de aceleración en el estilo crol	113
4.2. Anova mixta de los factores variables*estilos*género.....	114
4.2.1. Diferencias estilos*variables*género	114
4.2.2. Diferencias género*variables*estilos	124
4.2.3 Diferencias género*estilos*variables de la aceleración.....	135
4.3. Relación de las variables cíclicas de nado con las variables temprales y frecuenciales de la aceleración	142
4.3.1. Relación entre las variables cíclicas y las variables temporales de la aceleración.....	142
4.3.2. Relación entre las variables cíclicas y las variables frecuenciales de la aceleración	144
4.4. Regresión lineal múltiple por estilo y género de la aceleración en función de las variables cíclicas de nado	146
4.4.1. Regresión lineal múltiple de la velocidad para el estilo mariposa.....	147
4.4.2. Regresión lineal múltiple de la velocidad para el estilo espalda	148
4.4.3. Regresión lineal múltiple de la velocidad para el estilo braza.....	149

4.4.4. Regresión lineal múltiple de la velocidad para el estilo crol.....	150
4.5. Asociación tipo de espectro y estilo de nado	151
5. DISCUSIÓN.....	157
5.1. Metodología	158
5.1.1. Muestra.....	158
5.1.2. Material.....	160
5.1.3. Tratamiento de datos	161
5.2. Resultados	161
5.2.1. Análisis cualitativo de los perfiles de aceleración	161
5.2.2. Diferencias entre géneros	163
5.2.3. Diferencias entre estilos	170
5.2.4. Diferencias entre direcciones en cada estilo	177
5.2.5. Relación de las variables cíclicas con la aceleración en función del género	181
5.2.6. Análisis de regresión lineal múltiple de la velocidad	188
5.2.7. Asociación tipo de espectro y estilo de nado	192
5.3. Limitaciones del estudio y prospectiva de investigación	194
6. CONCLUSIONES	199
6.1. Sobre los resultados	199
6.2. Aplicación práctica	201
7. BIBLIOGRAFÍA	205
ANEXOS	227

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Valores medios y desviaciones estándar de la velocidad intraciclo en crol (a), espalda (b), braza (c) y mariposa (d) (adaptado de Barbosa et al., 2013).....	49
Figura 1.2: Ejemplo de un análisis realizado con la señal de posición con respecto al tiempo, representando la velocidad intraciclo en el primer rectángulo, los cambios intraciclo en relación a la aceleración en el segundo así como RMS, MAX y MIN, y en el rectángulo inferior se representa el análisis frecuencial de la aceleración así como PP, PPF y SA (Tella et al., 2008).....	52
Figura 1.3: Señales capturadas por parcial para cada técnica analizada (Silva et al., 2013)	57
Figura 1.4: Ángulos Euler necesarios para conocer la actitud del nadador.....	57
Figura 1.5: Configuración del sensor y diferentes sistemas de coordenadas utilizados en los cálculos (Dadashi et al. 2013)	60
Figura 1.6: Posición de los sensores (S) y transmisores (A) en el nadador (adaptado de Bächlin et al., 2009)	61
Figura 1.7: Ejemplo de datos obtenidos a través de un Smartphone (Marshall, 2013)	63
Figura 1.8: El sistema de coordenadas geocéntrico (X, Y, Z), el sistema de coordenadas del acelerómetro (x, y, z) y los ángulos de pitch (θ), roll (ϕ) y yaw (ψ) que definen las oscilaciones de movimiento durante el nado (adaptado de Pansiot et al., 2010).....	64
Figura 1.9: Ángulos de pitch y de roll registrados durante una sesión de entrenamiento en el estilo braza. Los ciclos y los impulsos de la pared son obvios. Notar la saturación del ángulo pitch como resultado de la baja aceleración (adaptado de Pansiot et al., 2010).....	64
Figura 1.10 Gráficas de las diferencias entre los estilos de las variables temporales de la aceleración RMS, MIN y MAX (Madera, 2011)	67

Índice de Figuras

Figura 1.11: Espectros frecuenciales en una prueba de 100m a estilo crol (p1: parcial 25m; p2: parcial 25-50m; p3: parcial 50-75m; p4: parcial 75-100m) en las direcciones antero-posterior y medio-lateral (Tella et al., 2007).....	72
Figura 1.12: Curvas de velocidad (arriba) y aceleración (abajo) de un nadador en braza y crol (Holmér, 1979).....	73
Figura 1.13: Representación gráfica de la aceleración 3D en los cuatro estilos de nado (Slawson et al., 2008)	74
Figura 1.14: Gráfica que representa la aceleración intraciclo en el estilo braza de dos nadadores diferentes (Slawson et al., 2008)	74
Figura 1.15: Espectro frecuencial de la aceleración y la velocidad de un nadador durante el nado de crol (Holmér, 1979)	76
Figura 1.16: Diferentes espectros de frecuencia en el estilo crol. En la gráfica de la izquierda se observan los tres tipos de espectros propuestos por los autores. El espectro a presenta diferentes picos, el espectro b presenta dos diferentes picos de potencia, y el espectro c presenta un espectro de un solo pico de potencia. En la gráfica de la derecha se observa una representación de todos los espectros frecuenciales analizados en su estudio (Tella et al., 2008).....	76
Figura 1.17: Tipos de espectro frecuencial propuestos por Madera para cada estilo de nado. El espectro de tipo I representa a los que tienen un solo pico de potencia, y los espectros de tipo II representan a aquellos con dos o más picos de potencia. b: braza, c: crol; m: mariposa; e: espalda, 1: nadador ejemplo 1; 2: nadador ejemplo 2 (Madera, 2011).....	78
Figura 1.18: Polígonos de frecuencia de la aceleración en crol a diferentes intensidades de nado. Intensidad 1= 85% de la velocidad máxima en 1500m; Intensidad 2= 90% de la velocidad máxima en 1500m; Intensidad 3= 95% de la velocidad máxima en 1500m (Company, 2014).....	79
Figura 3.1: Instrumental y su colocación para el registro de los datos. (a) ME6000 (b) bolsa aquapac (c) acelerómetro 3D y coordenadas de registro.....	94

Figura 3.2: Esquema de colocación de la cámara con respecto al nadador.....	97
Figura 3.3: Zona de interés (6 segundos) seleccionada para el análisis de la aceleración.....	100
Figura 4.1: Perfiles de la aceleración en las tres direcciones del estilo mariposa. Un ejemplo de dos nadadores.....	110
Figura 4.2: Perfiles de la aceleración en las tres direcciones del estilo espalda. Un ejemplo de dos nadadores.....	111
Figura 4.3: Perfiles de la aceleración en las tres direcciones del estilo braza. Un ejemplo de dos nadadores.....	112
Figura 4.4: Perfiles de la aceleración en las tres direcciones del estilo crol. Un ejemplo de dos nadadores.....	113
Figura 4.5: Ejemplo de los cuatro tipos de espectro seleccionados para este estudio en el estilo crol (a: espectro de un solo pico; b: espectro de dos picos; c: espectro de más de dos picos; d: espectro indefinido).....	151

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Relación de fases de nado en mariposa por Chollet (2004) y Maglischo, (2009)	31
Tabla 1.2: Relación de los movimientos de los miembros superiores, inferiores y del cuerpo en el estilo mariposa (adaptado de Madera, 2011)	32
Tabla 1.3: Relación de fases de nado en espalda por Chollet (2004) y Maglischo (2009)	34
Tabla 1.4: Relación de los movimientos de los miembros superiores e inferiores en el estilo espalda (Madera, 2011)	35
Tabla 1.5: Relación de fases de nado en braza por Chollet (2004) y Maglischo (2009)	36
Tabla 1.6: Relación de los movimientos de los miembros superiores, inferiores y del cuerpo en el estilo braza (Madera, 2011).....	37
Tabla 1.7: Relación de fases de nado en crol por Chollet (2004) y Maglischo (2009)	38
Tabla 1.8: Relación de los movimientos de los miembros superiores e inferiores en el estilo crol (Madera, 2011).....	39
Tabla 1.9: Velocidad y frecuencia de ciclo en pruebas de 100 metros en nadadores de nivel internacional (Arellano et al., 1994; Chollet et al., 1996; Haljand, 2011).....	42
Tabla 1.10: Rangos de FC (Hz) asociados a los estilos y distancias de competición en ambos géneros (adaptado de Maglischo, 1982).....	43
Tabla 1.11: FC en las pruebas de 100 metros de cada estilo (Morales, 2006)	44
Tabla 1.12: LC de las pruebas de 50 metros en los cuatro estilos en los campeonatos de Fukuoka 2001, Berlín 2002 y Barcelona 2003 (Kilani y Zeidan, 2004)	45

Índice de Tablas

Tabla 1.13: Error de estimación a diferentes velocidades de nado (adaptado de Dadashi et al. 2013)	58
Tabla 1.14: Caracterización frecuencial 1D de los estilos de nado (adaptado de Madera, 2011)	80
Tabla 3.1: Características de la muestra.....	93
Tabla 3.2: El género como factores inter-sujetos en el análisis de la varianza mixta	102
Tabla 3.3: Factores intra-sujetos de las variables cíclicas de nado.....	102
Tabla 3.4: Factores intra-sujetos de las variables temporales de la aceleración	103
Tabla 3.5: Factores intra-sujetos de las variables frecuenciales de la aceleración	104
Tabla 4.1: Descriptivos de las variables cíclicas de nado y sus diferencias entre géneros para el estilo mariposa.....	115
Tabla 4.2: Descriptivos de las variables cíclicas de nado y sus diferencias entre géneros para el estilo espalda	115
Tabla 4.3: Descriptivos de las variables cíclicas de nado y sus diferencias entre géneros para el estilo braza	115
Tabla 4.4: Descriptivos de las variables cíclicas de nado y sus diferencias entre géneros para el estilo crol.....	116
Tabla 4.5: Descriptivos de las variables de la aceleración en la dirección superior-inferior y sus diferencias entre géneros para el estilo mariposa	117
Tabla 4.6: Descriptivos de las variables de la aceleración en la dirección medio-lateral y sus diferencias entre géneros para el estilo mariposa	117
Tabla 4.7: Descriptivos de las variables de la aceleración en la dirección antero-posterior y sus diferencias entre géneros para el estilo mariposa	118

Tabla 4.8: Descriptivos del InRMS de la aceleración (dirección antero-posterior vs superior-inferior) y sus diferencias entre géneros para el estilo mariposa	118
Tabla 4.9: Descriptivos de las variables de la aceleración en la dirección superior-inferior y sus diferencias entre géneros para el estilo espalda.....	119
Tabla 4.10: Descriptivos de las variables de la aceleración en la dirección medio-lateral y sus diferencias entre géneros para el estilo espalda.....	119
Tabla 4.11: Descriptivos de las variables de la aceleración en la dirección antero-posterior y sus diferencias entre géneros para el estilo espalda.....	120
Tabla 4.12: Descriptivos del InRMS de la aceleración (dirección antero-posterior vs medio-lateral) y sus diferencias entre géneros para el estilo espalda.....	120
Tabla 4.13: Descriptivos de las variables de la aceleración en la dirección superior-inferior y sus diferencias entre géneros para el estilo braza.....	121
Tabla 4.14: Descriptivos de las variables de la aceleración en la dirección medio-lateral y sus diferencias entre géneros para el estilo braza.....	121
Tabla 4.15: Descriptivos de las variables de la aceleración en la dirección antero-posterior y sus diferencias entre géneros para el estilo braza.....	122
Tabla 4.16: Descriptivos del InRMS de la aceleración (dirección antero-posterior vs superior-inferior) y sus diferencias entre géneros para el estilo braza	122
Tabla 4.17: Descriptivos de las variables de la aceleración en la dirección superior-inferior y sus diferencias entre géneros para el estilo crol.....	123

Índice de Tablas

Tabla 4.18: Descriptivos de las variables de la aceleración en la dirección medio-lateral y sus diferencias entre géneros para el estilo crol	123
Tabla 4.19: Descriptivos de las variables de la aceleración en la dirección antero-posterior y sus diferencias entre géneros para el estilo crol	124
Tabla 4.20: Descriptivos del InRMS de la aceleración (dirección antero-posterior vs medio-lateral) y sus diferencias entre géneros para el estilo crol	124
Tabla 4.21: Descriptivos del género femenino de las variables cíclicas de nado para cada estilo y sus diferencias	125
Tabla 4.22: Descriptivos del género masculino de las variables cíclicas de nado para cada estilo y sus diferencias	126
Tabla 4.23: Descriptivos del género femenino de las variables temporales de la aceleración para cada estilo en la dirección superior-inferior y sus diferencias	127
Tabla 4.24: Descriptivos del género femenino de las variables temporales de la aceleración para cada estilo en la dirección medio-lateral y sus diferencias	127
Tabla 4.25: Descriptivos del género femenino de las variables temporales de la aceleración para cada estilo en la dirección antero-posterior y sus diferencias	128
Tabla 4.26: Descriptivos del género femenino para el InRMS de la aceleración para cada estilo y sus diferencias	128
Tabla 4.27: Descriptivos del género femenino de las variables frecuenciales de la aceleración para cada estilo en la dirección superior-inferior y sus diferencias	129
Tabla 4.28: Descriptivos del género femenino de las variables frecuenciales de la aceleración para cada estilo en la dirección medio-lateral y sus diferencias	130

Tabla 4.29: Descriptivos del género femenino de las variables frecuenciales de la aceleración para cada estilo en la dirección antero-posterior y sus diferencias	130
Tabla 4.30: Descriptivos del género masculino de las variables temporales de la aceleración para cada estilo en la dirección superior-inferior y sus diferencias	131
Tabla 4.31: Descriptivos del género masculino de las variables temporales de la aceleración para cada estilo en la dirección medio-lateral y sus diferencias	132
Tabla 4.32: Descriptivos del género masculino de las variables temporales de la aceleración para cada estilo en la dirección antero-posterior y sus diferencias	133
Tabla 4.33: Descriptivos del género masculino para el InRMS de la aceleración para cada estilo y sus diferencias.....	133
Tabla 4.34: Descriptivos del género masculino de las variables frecuenciales de la aceleración para cada estilo en la dirección superior-inferior y sus diferencias	134
Tabla 4.35: Descriptivos del género masculino de las variables frecuenciales de la aceleración para cada estilo en la dirección medio-lateral y sus diferencias	134
Tabla 4.36: Descriptivos del género masculino de las variables frecuenciales de la aceleración para cada estilo en la dirección antero-posterior y sus diferencias	135
Tabla 4.37: Descriptivos del género femenino de las variables temporales de la aceleración en mariposa y sus diferencias....	136
Tabla 4.38: Descriptivos del género femenino de las variables temporales de la aceleración en espalda y sus diferencias	136
Tabla 4.39: Descriptivos del género femenino de las variables temporales de la aceleración en braza y sus diferencias.....	136
Tabla 4.40: Descriptivos del género femenino de las variables temporales de la aceleración en crol y sus diferencias	137

Índice de Tablas

Tabla 4.41: Descriptivos del género femenino de las variables frecuenciales de la aceleración en mariposa y sus diferencias	137
Tabla 4.42: Descriptivos del género femenino de las variables frecuenciales de la aceleración en espalda y sus diferencias ...	138
Tabla 4.43: Descriptivos del género femenino de las variables frecuenciales de la aceleración en braza y sus diferencias	138
Tabla 4.44: Descriptivos del género femenino de las variables frecuenciales de la aceleración en crol y sus diferencias.....	138
Tabla 4.45: Descriptivos del género masculino de las variables temporales de la aceleración en mariposa y sus diferencias....	139
Tabla 4.46: Descriptivos del género masculino de las variables temporales de la aceleración en espalda y sus diferencias	139
Tabla 4.47 Descriptivos del género masculino de las variables temporales de la aceleración en braza y sus diferencias.....	140
Tabla 4.48: Descriptivos del género masculino de las variables temporales de la aceleración en crol y sus diferencias.....	140
Tabla 4.49: Descriptivos del género masculino de las variables frecuenciales de la aceleración en mariposa y sus diferencias	141
Tabla 4.50: Descriptivos del género masculino de las variables frecuenciales de la aceleración en espalda y sus diferencias ...	141
Tabla 4.51: Descriptivos del género masculino de las variables frecuenciales de la aceleración en braza y sus diferencias	141
Tabla 4.52: Descriptivos del género masculino de las variables frecuenciales de la aceleración en crol y sus diferencias.....	142
Tabla 4.53: Relación entre las variables cíclicas de nado y las variables temporales de la aceleración en el estilo mariposa.....	143
Tabla 4.54: Relación entre las variables cíclicas de nado y las variables temporales de la aceleración en el estilo espalda	143

Tabla 4.55: Relación entre las variables cíclicas de nado y las variables temporales de la aceleración en el estilo braza	144
Tabla 4.56: Relación entre las variables cíclicas de nado y las variables temporales de la aceleración en el estilo crol.....	144
Tabla 4.57: Relación entre las variables cíclicas de nado y las variables frecuenciales de la aceleración en el estilo mariposa.....	145
Tabla 4.58: Relación entre las variables cíclicas de nado y las variables frecuenciales de la aceleración en el estilo espalda	145
Tabla 4.59: Relación entre las variables cíclicas de nado y las variables frecuenciales de la aceleración en el estilo braza	146
Tabla 4.60: Relación entre las variables cíclicas de nado y las variables frecuenciales de la aceleración en el estilo crol	146
Tabla 4.61: Regresión lineal múltiple de la velocidad en el estilo mariposa en el género femenino. Coeficientes estandarizados y valores de probabilidad	147
Tabla 4.62: Regresión lineal múltiple de la velocidad en el estilo mariposa en el género masculino. Coeficientes estandarizados y valores de probabilidad	148
Tabla 4.63: Regresión lineal múltiple de la velocidad en el estilo espalda en el género femenino. Coeficientes estandarizados y valores de probabilidad	148
Tabla 4.64: Regresión lineal múltiple de la velocidad en el estilo espalda en el género masculino. Coeficientes estandarizados y valores de probabilidad	149
Tabla 4.65: Regresión lineal múltiple de la velocidad en el estilo braza en el género femenino. Coeficientes estandarizados y valores de probabilidad.....	149
Tabla 4.66: Regresión lineal múltiple de la velocidad en el estilo braza en el género masculino. Coeficientes estandarizados y valores de probabilidad	150

Índice de Tablas

Tabla 4.67: Regresión lineal múltiple de la velocidad en el estilo crol en el género masculino. Coeficientes estandarizados y valores de probabilidad.....	150
Tabla 4.68: Tabla de contingencia de tipo de espectro en función del estilo para el género femenino.....	152
Tabla 4.69: Tabla de contingencia de tipo de espectro en función del estilo para el género masculino	152
Tabla 4.70: Tabla de contingencia de tipo de espectro en función del género en el estilo mariposa	153
Tabla 4.71: Tabla de contingencia de tipo de espectro en función del género en el estilo espalda.....	153
Tabla 4.72: Tabla de contingencia de tipo de espectro en función del género en el estilo braza	153
Tabla 4.73: Tabla de contingencia de tipo de espectro en función del género en el estilo crol	154

ABREVIATURAS

FINA: Federación Internacional de Natación Amateur

FC: Frecuencia de Ciclo

LC: Longitud de Ciclo

IC: Índice de Ciclo

V: Velocidad media

IdC: Índice de Coordinación

FFT: *Fast Fourier Transform* (transformada rápida de Fourier)

M: estilo Mariposa de natación

E: estilo Espalda de natación

B: estilo Braza de natación

C: estilo Crol de natación

RMS: *Root Mean Square* (valor cuadrático medio de la aceleración)

MIN: valor Mínimo de la aceleración

MAX: valor Máximo de la aceleración

InRMS: Índice del RMS

PP: *Power Peak* (pico de potencia)

PPF: *Power Peak Frequency* (frecuencia del pico de potencia)

SA: *Spectral Area* (área espectral)

IMU: *Inertial Measurement Unit* (unidad de medida inercial)

PREÁMBULO

PREÁMBULO

El deporte de la natación ha sido una de las disciplinas deportivas que más se ha estudiado (Williams y Kendall, 2007), posiblemente al desarrollarse en un entorno cerrado y fácilmente controlable, a pesar de las dificultades para gestionar los instrumentos de medición en el medio acuático. Además, el estudio de las variables cinemáticas ha sido uno de los más recurridos para conocer su importancia en el rendimiento deportivo en natación (Pelayo y Alberty, 2009).

El rendimiento en una prueba de natación requiere de diferentes tipos de movimiento. Para ello, se han identificado diferentes fases, que se caracterizan por contener acciones cíclicas o acciones acíclicas (Hay, 1985). Las principales acciones acíclicas son la salida y el viraje. Estas acciones tienen una importancia relativa con respecto al tiempo total de la prueba y en consecuencia con su rendimiento. El análisis cinemático de la salida en función de diferentes opciones técnicas (agarre vs atletismo), fue el objeto de estudio para superar el trabajo de investigación previo (suficiencia investigadora o antiguo DEA), a la realización de la presente tesis doctoral.

Posteriormente mi tutor, uno de los directores que han dirigido esta tesis, me propuso analizar las acciones cíclicas de nado. La unidad de investigación a la que pertenece, había llevado a cabo estudios cinemáticos sobre la velocidad y la aceleración en los diferentes estilos de nado (Tella, Llop, Jordá, Madera, y Benavent, 2006; Tella et al., 2008). Pero su validez era relativa, ya que sus registros habían sido realizados a través de un velocímetro, y sus cálculos requerían de una derivada para el cálculo de la velocidad o de dos derivadas de los registros espacio-temporales para convertirlos en registros de aceleración.

En la línea de conseguir registros directos de la aceleración, la unidad de investigación había llevado a cabo estudios piloto con acelerómetros en 2 direcciones (2D) (Tella et al., 2007), pero la consistencia de estos acelerómetros en fase de desarrollo todavía no permitía llevar a cabo registros con una muestra amplia de participantes. Ante la posibilidad de realizar registros de aceleración con un acelerómetro triaxial (3D) de mayor consistencia a los que hasta ese

momento se habían utilizado, la propuesta de caracterizar los estilos de nado a través de la aceleración 3D fue tomando cuerpo.

De manera complementaria, el atractivo de contribuir a caracterizar los estilos de nado en el dominio temporal y frecuencial, continuando los primeros análisis realizados por Holmér (1979) y los trabajos previos de la unidad de investigación, fueron el impulso definitivo para hacer frente a esta tesis doctoral, que tiene como objeto de estudio analizar la aceleración 3D en las acciones cíclicas de nado.

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

La caracterización de los estilos de nado, es uno de los objetivos tanto de los investigadores como de los profesionales del deporte de la natación. El primer nivel de caracterización de un estilo de nado, viene determinado por el marco reglamentario que establece la Federación Internacional de Natación Amateur (FINA, 2009), para cada uno de los estilos de competición. Básicamente, este nivel de caracterización establece los criterios que deben cumplir los nadadores desde la salida y durante el nado, con respecto a la posición del cuerpo, a los movimientos de los diferentes segmentos corporales (i.e. miembros superiores, inferiores, etc.), y su coordinación. A modo de tabla, en el Anexo 1 se concentran los aspectos relevantes de los artículos del reglamento, que hacen referencia a los estilos de nado en su fase cíclica de nado. Pero su cumplimiento, no garantiza la eficacia del desplazamiento del nadador en cada uno de los estilos. Así, la caracterización de aquellas variables que puedan determinar su rendimiento, ha sido y es objeto de estudio científico en el deporte de la natación.

En general, la eficacia o rendimiento en los estilos de nado es multifactorial, y por ello los nadadores responden de manera diferenciada en función de sus características coordinativas, condicionales, antropométricas y psicológicas (Miller, 1975). Además, cada estilo muestra una caracterización diferente ante las distancias de competición (i.e. 50m, 100m, 200m,...), o entornos físicos en los que se nade (i.e. piscina de 25 ó 50m y aguas abiertas).

La caracterización cinemática permite conocer el movimiento del nadador, sin considerar las causas que lo originan. De esta manera, la descripción de los movimientos propulsivos, su coordinación y los cambios que se producen durante el nado en función del tiempo, han sido objeto de estudio.

En esta introducción se presentan varios subapartados, con la intención de progresar de manera teórica, desde los conocimientos relacionados con los movimientos propulsivos y su coordinación para cada uno de los estilos competitivos, pasando por la descripción de las

principales variables cinemáticas que caracterizan cada uno de estos estilos de nado, con el fin de poder relacionar estos conocimientos con cuestiones de aceleración.

1.1. – Movimientos propulsivos y coordinación en los estilos de natación

Como indica el reglamento FINA (2009), existen cuatro estilos de nado de competición, mariposa, espalda, braza y crol. Son numerosos los autores que han descrito tanto sus movimientos propulsivos como su coordinación (Chollet, 2004; Costill, Maglischo, y Richardson, 1992; Counsilman, 1968, 2007; Maglischo, 2009), con el objetivo de caracterizar una técnica de nado eficaz. En general, estos autores han separado su descripción en base a la posición del cuerpo, la acción de los miembros inferiores, superiores, y su coordinación.

1.1.1. Estilo mariposa

Se trata de un estilo con la limitación reglamentaria en la coordinación de movimientos (simultaneidad entre miembros superiores e inferiores). El ciclo completo de nado en el estilo mariposa comprende un movimiento completo de los miembros superiores, y dos acciones propulsivas de los miembros inferiores (Maglischo, 2009), realizados durante un movimiento ondulatorio del cuerpo.

La posición del cuerpo va cambiando durante cada ciclo completo de los miembros superiores. Dichos cambios suponen dos movimientos ondulantes con sus correspondientes fases: una ascendente y otra descendente (Chollet, 2004; Chollet, Seifert, Boulesteix, y Carter, 2006), que permiten la respiración y el recobro de los miembros superiores, así como la colocación del cuerpo en una posición óptima, para favorecer las acciones propulsoras de miembros inferiores y superiores. Además, el cuerpo debe de mantenerse próximo a la superficie durante las fases de mayor impulso de los miembros superiores, con el objetivo de reducir la resistencia de forma (Maglischo, 2009).

En cada ciclo de nado de este estilo, se producen dos movimientos descendentes y dos ascendentes de los miembros inferiores. El

movimiento de los miembros inferiores más efectivo para lograr un rendimiento óptimo, es el que está dirigido hacia abajo, mientras que el gesto hacia arriba sirve esencialmente para volver a colocar (recobrar) los miembros inferiores, y apenas contribuye a la propulsión del nadador (Jensen y McIlwain, 1979; Maglischo, 1982).

Chollet (2004) establece seis fases por ciclo del estilo mariposa en la acción de los miembros superiores: entrada, agarre, tirón, empuje, salida y recobro. Durante las fases propulsivas (agarre, tracción y empuje), se varía la orientación y velocidad (aceleración-deceleración) de las manos, aumentando su capacidad propulsiva conforme se cambia la dirección de las mismas. Por otro lado, Maglischo (2009) considera que la acción de miembros superiores está compuesta por cinco fases: entrada y estiramiento, movimiento hacia fuera, movimiento hacia dentro, movimiento hacia arriba, y relajación y recobro. La relación entre las fases establecidas por ambos autores se puede observar en la Tabla 1.1.

Chollet (2004)	(Maglischo, 2009)
Entrada	Entrada y estiramiento
Agarre	Movimiento hacia fuera
Tracción	Movimiento hacia dentro
Empuje	Movimiento hacia arriba
Salida	Relajación y recobro
Recobro	

Introducción

Cada ciclo completo se corresponde a un movimiento de miembros superiores (de entrada a entrada de los mismos) y dos movimientos de miembros inferiores (con sus fases ascendentes y descendentes). Los momentos clave en la coordinación de miembros superiores e inferiores son (Chollet et al., 2006):

- Primer movimiento hacia abajo de los miembros inferiores, que coincide con la entrada-agarre de los miembros superiores en el agua.
- Movimiento hacia arriba de los miembros inferiores y movimiento hacia dentro de los miembros superiores.
- Segundo movimiento hacia abajo de los miembros inferiores, y movimiento hacia arriba y relajación de los miembros superiores.
- Movimiento hacia arriba de los miembros inferiores y recobro de miembros superiores.

En la Tabla 1.2 Madera (2011) describe una posible coordinación temporal entre las acciones propulsivas de miembros superiores e inferiores en el estilo mariposa, que conllevaría 4 momentos propulsivos por ciclo completo.

Miembros superiores	Miembros inferiores	Cuerpo
Entrada y estiramiento Movimiento hacia fuera y agarre	1 ^{er} Batido abajo	Ligera flexión caderas
Movimiento hacia dentro	1 ^{er} Batido arriba	Deslizamiento
Movimiento hacia arriba	2 ^o Batido abajo	Extensión tronco/cabeza
Relajación y recobro	2 ^o Batido arriba	Inicio flexión tronco/caderas

1.1.2. Estilo espalda

El ciclo completo de nado en el estilo espalda, comienza cuando una de las manos entra en el agua, y finaliza en el momento en el que esa misma mano vuelva a iniciar esa acción de entrada (Mason y Cossor, 2000), e incluye seis movimientos ascendentes de los miembros inferiores.

Aunque se trate de un estilo libre sobre la espalda, por motivos reglamentarios (FINA, 2009), el nadador deberá mantenerse sobre su espalda durante la fase de nado (con la excepción de la aproximación a la pared). La alineación horizontal del cuerpo en decúbito supino define la posición de la cadera justo por debajo de la superficie, manteniendo los miembros inferiores más bajos y la cabeza ligeramente más alta, con una alineación lateral (caderas y miembros inferiores dentro de la anchura de los hombros). Una continua rotación del cuerpo a ambos lados sobre el eje longitudinal, denominada rolido, es necesaria tanto para realizar las acciones propulsivas como para realizar el recobro de los miembros superiores (Maglischo, 2009).

La función más importante de la acción de miembros inferiores, es la de estabilizar una posición hidrodinámica adecuada, manteniendo y controlando la acción del rolido (Alves, Costa, y Gomes-Pereira, 1998). La acción de los miembros inferiores es alternativa, mientras un miembro realiza la fase descendente el otro realiza la fase ascendente. La mayoría de los nadadores realizan una coordinación seis batidos por ciclo completo de brazos que permite mantener una posición hidrodinámica del cuerpo (Lerda y Cardelli, 2003). Esta coordinación de seis tiempos permite una mayor contribución de los miembros inferiores en la propulsión (Hollander, Groot, Schenau, Kahman, y Toussaint, 1988). Según estos autores, se trata de un movimiento continuo y alternado en el plano vertical de seis batidos ascendentes (y descendentes) por cada ciclo de nado, que por la acción de rolido tienen una trayectoria diagonal en la dirección del lado del miembro superior sumergido.

Los miembros superiores se mueven de forma alterna, con dos grandes fases: una aérea o de recobro, y otra subacuática o propulsiva. Dicha alternancia en la acción de los miembros superiores, presenta una duración casi exacta en sus acciones contrapuestas (i.e. recobro y

propulsión) (Chollet, 2004). Los movimientos que conforman la acción de los miembros superiores en este estilo son: entrada de la mano, primer movimiento hacia abajo, primer movimiento hacia arriba, segundo movimiento hacia abajo, segundo movimiento hacia arriba (este último movimiento es una opción entre las posibilidades propulsivas de este estilo), y salida y recobro (Maglischo, 2009). Estos cambios de dirección de las manos facilitan las acciones propulsivas, adaptando la posición de la mano a la dirección del movimiento. Chollet (2004) divide los movimientos de las manos en las siguientes fases en: entrada, abajo y afuera, arriba, segunda abajo, y salida y recobro (Tabla 1.3).

Chollet (2004)	(Maglischo, 2009)
Entrada	Entrada
Abajo y fuera	1 ^{er} Movimiento hacia abajo
Arriba	1 ^{er} Movimiento hacia arriba
Abajo	2 ^o Movimiento hacia abajo
	2 ^o Movimiento hacia arriba
Salida y recobro	

En cuanto a la coordinación de los gestos de miembros superiores e inferiores, los tres momentos claves del estilo espalda son (Chollet, 2004; Maglischo, 2009):

- Entrada y primer movimiento hacia abajo de un miembro superior, y batido hacia arriba del miembro inferior contrario.
- Movimiento hacia arriba de un miembro superior, y batido hacia arriba del miembro inferior homolateral.
- Segundo movimiento hacia abajo de un miembro superior, y batido hacia arriba del miembro inferior contrario.

En la Tabla 1.4 Madera (2011) describe una posible coordinación temporal entre las acciones propulsivas de miembros superiores e

inferiores en el estilo espalda, que conllevaría 3 momentos propulsivos por ciclo completo.

Miembro superior derecho	Miembro superior izquierdo	Miembro inferior derecho	Miembro inferior izquierdo
2ª Parte Recobro	2º Movimiento hacia abajo	Batido abajo	Batido arriba
Entrada y 1 ^{er} Movimiento hacia abajo	Liberación e Inicio recobro	Batido arriba	Batido abajo
Movimiento hacia arriba	1ª Parte Recobro	Batido abajo	Batido arriba
2º Movimiento hacia abajo	2ª Parte Recobro	Batido arriba	Batido abajo

1.1.3. Estilo braza

Se trata del estilo más lento de los cuatro en los que se compite bajo el reglamento FINA. Maglischo (2009) achaca esta característica a los grandes cambios de velocidad y a los descensos de la misma (hasta $0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) que se producen dentro de un mismo ciclo en el nado tradicional (horizontal), aunque haya evolucionado hacia una verticalización (ondulación) del estilo (Chollet, 2004). Además, el reglamento limita el recorrido de las manos durante el nado, la coordinación de los gestos y la dirección de los movimientos de miembros inferiores (FINA, 2009).

El ciclo completo de nado en el estilo braza, comienza cuando se inicia el movimiento hacia fuera de miembros superiores, y finaliza en el momento en el que estos llegan a esta posición de nuevo, aunque la máxima flexión de miembros inferiores (final del recobro), es una referencia clara para establecer el comienzo y final de un ciclo cuando se cuenta con visión subacuática del nado (Mercadé, Arellano, y Soto, 2002).

La posición del cuerpo del nadador va cambiando en cada momento del ciclo de nado. Así, cuando los miembros inferiores efectúan su acción propulsiva, el tronco y los miembros superiores deberían permanecer en una posición hidrodinámica y alineados (fase más eficaz). Mientras que durante la acción propulsiva de los miembros superiores se eleva la

Introducción

cabeza para inspirar y a su vez se flexionan las caderas, con el objetivo de preparar los miembros inferiores para la fase propulsiva (fase menos eficaz).

La acción de los miembros superiores es la más reducida en cuanto a recorrido de las manos y cambios de dirección. Se compone de un movimiento hacia fuera y otro hacia dentro, seguido por un recobro (Maglischo, 2009). Chollet (2004) añade un agarre entre los dos movimientos, y descompone el movimiento hacia dentro en dos gestos: hacia abajo y hacia dentro (Tabla 1.5).

Chollet (2004)	(Maglischo, 2009)
Fuera	Movimiento hacia fuera
Agarre	
Abajo	Movimiento hacia dentro
Dentro	
Recobro	

La acción de miembros inferiores se compone a su vez de: recobro, agarre, movimiento hacia fuera, movimiento hacia dentro y elevación, y deslizamiento (Maglischo, 2009). Se trata de un gesto de elevada potencia, que permite al nadador lograr una propulsión elevada.

El reglamento (FINA, 2009) indica que la coordinación en la fase de nado ha de respetar el orden: acción de miembros superiores – acción de miembros inferiores. A este respecto, Chollet, Seifert, Leblanc, Boulesteix, y Carter (2004) señalan la sincronización de los gestos de miembros superiores e inferiores, como la clave para lograr una mayor eficacia en el desplazamiento global del estilo. Estos mismos autores identifican los siguientes puntos clave en la ejecución del nado:

- Movimiento hacia fuera de los miembros superiores mientras los miembros inferiores se encuentran extendidos (posición del cuerpo en línea con la corriente del agua o *streamline*).
- Movimiento hacia dentro de los miembros superiores, y recobro de miembros inferiores.
- Movimiento hacia fuera y hacia dentro de los miembros inferiores (gesto más propulsivo), mientras los miembros superiores recobran y se extienden delante (posición del cuerpo en línea con la corriente del agua *streamline*).

En la Tabla 1.6 Madera (2011) describe una posible coordinación temporal entre las acciones propulsivas de miembros superiores e inferiores en el estilo braza, que conllevaría 3 momentos propulsivos por ciclo completo.

Tabla 1.6: Relación de los movimientos de los miembros superiores, inferiores y del cuerpo en el estilo braza (Madera, 2011)		
Miembros superiores	Miembros inferiores	Cuerpo
Recobro y deslizamiento	Patada hacia fuera y patada hacia dentro	<i>Streamline</i>
Movimiento hacia fuera	Elevación y deslizamiento	<i>Streamline</i>
Movimiento hacia dentro	Recobro	Cabeza fuera y flexión y descenso de cadera

1.1.4. Estilo libre

En las pruebas así llamadas, el reglamento no hace ninguna indicación sobre los gestos técnicos o coordinaciones que los nadadores deben cumplir. Por eso, se va a analizar la técnica que la mayoría de los competidores utilizan en estas pruebas por ser el más rápido de los cuatro: el crol. Se trata de un estilo que se corresponde al que en inglés se denomina *front crawl*, y tiene su origen en los aborígenes del Océano Pacífico (Llana y Pérez-Soriano, 2011). El ciclo completo de nado en el estilo libre, comienza cuando una de las manos entra en el agua, y finaliza

en el momento en el que esa misma mano vuelva a iniciar esa acción de entrada, habiendo realizado ambos miembros superiores las acciones acuáticas y subacuáticas (Mason y Cossor, 2000).

La posición del cuerpo en este estilo será básicamente sobre el pecho (horizontal), con la cabeza más elevada que la cadera, y la cadera más elevada que los miembros inferiores. Para la ejecución eficaz de las acciones de miembros superiores (recobro y propulsión), y para facilitar la respiración, se realizan rotaciones sobre el eje longitudinal llamadas rolidos.

Maglischo (2009) distingue las siguientes fases en la acción de miembros superiores: entrada y extensión, movimiento hacia abajo, agarre, movimiento hacia dentro, movimiento hacia arriba, y salida y recobro. Chollet (2004) diferencia entre agarre, tirón y empuje en las fases propulsivas del miembro superior (Tabla 1.7).

Tabla 1.7: Relación de fases de nado en crol por Chollet (2004) y Maglischo (2009)	
Chollet (2004)	(Maglischo, 2009)
Entrada y extensión	
Agarre	Movimiento hacia abajo
	Agarre
Tirón	Movimiento hacia dentro
Empuje	Movimiento hacia arriba
Recobro	Salida y recobro

Los miembros inferiores se mueven de forma alterna, realizando seis (en función del ritmo de nado o distancia) movimientos hacia abajo por cada ciclo de nado. Como en el estilo espalda, la dirección de los movimientos de miembros inferiores no son completamente verticales, sino que acompañan la inercia de las oscilaciones que se producen sobre el eje longitudinal (rolido). La función principal del movimiento de los miembros inferiores es el de permitir el equilibrio y la estabilidad del

nadador (lateral, sagital y frontal), con un factor propulsivo accesorio (Chollet, 2004).

Los momentos coordinativos más importantes en este estilo son:

- Movimiento hacia arriba (final de la propulsión) de un miembro superior y movimiento hacia abajo del miembro inferior contrario (mientras entra y se extiende el otro miembro superior).
- El segundo momento correspondería al movimiento hacia abajo de un miembro superior, con el movimiento hacia abajo del miembro inferior contrario.
- El tercer momento propulsivo correspondería al movimiento hacia dentro de un miembro superior, con el movimiento hacia abajo del miembro inferior contrario.

En la Tabla 1.8 Madera (2011) se describe una posible coordinación temporal entre las acciones propulsivas de miembros superiores e inferiores en el estilo crol, que conllevaría 3 momentos propulsivos por ciclo completo. El total de momentos propulsivos durante un ciclo completo sería de 6, al completarse la secuencia con los momentos en los que se coordinan las acciones inversas entre miembros superiores e inferiores.

Tabla 1.8: Relación de los movimientos de los miembros superiores e inferiores en el estilo crol (Madera, 2011)			
Miembro superior derecho	Miembro superior izquierdo	Miembro inferior derecho	Miembro inferior izquierdo
Entrada y estiramiento	Movimiento hacia arriba	Batido abajo	Batido arriba
Movimiento hacia abajo	Inicio recobro	Batido arriba	Batido abajo
Movimiento hacia dentro	Recobro	Batido abajo	Batido arriba

1.2. Caracterización cinemática de las acciones cíclicas de nado

Los principales estudios que han pretendido caracterizar las acciones cíclicas de nado lo han hecho a través de los parámetros, velocidad de nado, frecuencia de ciclo, longitud de ciclo, índice de ciclo, índice de coordinación, variación de la velocidad intraciclo y la aceleración intraciclo. Así:

- La velocidad de nado ($m \cdot s^{-1}$) es el producto de la frecuencia por la longitud de ciclo en cualquiera de las acciones cíclicas de un estilo de nado (Craig, Skehan, Pawelczyk, y Boomer, 1985; Craig y Pendergast, 1979; Dekerle et al., 2005; Hellard et al., 2008; Navarro, 1996; Pai, Hay, Wilson, y Thayer, 1984).

$$v = FC \cdot LC \tag{1}$$

donde v es la velocidad de nado en $m \cdot s^{-1}$, FC es la frecuencia de ciclo en ciclos/s y LC sería la longitud de ciclo en m/ciclos.

- La longitud de ciclo (LC) es la distancia que realiza un nadador por cada ciclo completo de los miembros superiores y se mide en metros (Craig y Pendergast, 1979).
- La frecuencia de ciclo (FC) es el número de ciclos de nado por cada unidad de tiempo, se mide en hertzios (ciclos por segundo, c/s o Hz) y también se puede representar en ciclos por minuto (c/min).
- El índice de ciclo es el producto de la velocidad media por la longitud de ciclo (Costill et al., 1985).

$$IC = v \cdot LC \tag{2}$$

donde IC es el índice de ciclo que es representado por un número adimensional, v es la velocidad en $m \cdot s^{-1}$ y LC es la longitud de ciclo en m/ciclos.

- El índice de coordinación (IdC) muestra la proporción del tiempo o lapso entre acciones propulsivas de miembros superiores, con respecto a un ciclo de nado en crol y en espalda (Chollet, Chalies, y

Chatard, 2000; Chollet, Millet, Lerda, Hue, y Chatard, 2003; Chollet, Seifert, y Carter, 2008), y la proporción entre las acciones propulsivas de miembros inferiores y superiores en braza y mariposa (Chollet, Leblanc, Brabant, y Pedroletti, 2002; Chollet et al., 2004, 2006). En general, este índice cuantifica si la coordinación entre las acciones propulsivas se realiza (i) en oposición, cuando acaba una acción propulsiva comienza la siguiente, (ii) en tiempo muerto (*catch up*), si entre las acciones propulsivas existe un lapso de tiempo o (iii) en superposición, cuando antes de acabar una acción propulsiva ya ha comenzado la otra (miembro superior vs miembro superior o miembros superiores vs miembros inferiores).

- La variación de la velocidad intraciclo está representada por los cambios porcentuales de las velocidades que se producen durante un ciclo de nado, con respecto a la velocidad media. Barbosa et al. (2010) indican que se calculada a través de la fórmula:

$$dV = \frac{\sqrt{\sum_i (v_i - \bar{v})^2 \frac{F_i}{n}}}{\sum_i v_i \frac{F_i}{n}} 100 \quad (3)$$

donde dV representa la variación de la velocidad horizontal intraciclo del centro de masas, v es la velocidad media de nado, v_i es la velocidad instantánea, F la frecuencia absoluta y n es el número de observaciones realizadas.

- Para la aceleración, los principales parámetros que se han analizado sobre el desplazamiento del nadador se sitúan en el dominio temporal y en el dominio frecuencial:

En el dominio temporal, el principal parámetro estudiado ha sido su valor cuadrático medio (*Root Mean Square* o RMS). Su cálculo se realiza a través de la siguiente fórmula:

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_N^2}{N}} \quad (4)$$

donde x representa a los diferentes registros de aceleración en el tiempo.

Además de este parámetro también han sido analizados los valores máximos (MAX) y mínimos (MIN) de la aceleración, obtenidos en un ciclo de nado.

En el dominio frecuencial, también se ha analizado (i) el pico de potencia (*Power Peack* o PP) o valor más alto del espectro de potencia, (ii) la frecuencia del PP (*Power Peack Frequency* o PPF) o frecuencia asociada con el PP y (iii) la potencia contenida en el área espectral (*Spectral Area* o SA) que es la potencia total del espectro. Para obtener estos parámetros se utiliza un método basado en el periodograma de la señal registrada (Pollock, 1999).

1.2.1. Frecuencia de ciclo

Los principales estudios que han analizado la frecuencia de ciclo, muestran su caracterización a cada uno de los estilos de nado. En general, el estilo con mayor frecuencia es mariposa, seguido del crol, la braza y la espalda (Morales, 2006). Esta tendencia es confirmada por otros estudios (Arellano, Brown, Cappaert, y Nelson, 1994; Chollet, Pelayo, Tourny, y Sidney, 1996) y por los resultados en competiciones de nivel internacional desde el año 1976 al 2008 (Haljand, 2011). En la Tabla 1.9 se presenta los valores de frecuencia de ciclo asociadas a las velocidades de nado de estos estudios.

Tabla 1.9: Velocidad y frecuencia de ciclo en pruebas de 100 metros en nadadores de nivel internacional (Arellano et al., 1994; Chollet et al., 1996; Haljand, 2011)

Fuente	MARIPOSA		ESPALDA		BRAZA		CROL		ORDEN
	v	FC	v	FC	v	FC	v	FC	
Arellano et al. (1994)	1,72	0,90	1,64	0,78	1,49	0,87	1,89	0,89	MCBE
Chollet et al. (1996)	1,78	0,91	1,72	0,76	1,53	0,81	1,95	0,87	MCBE
Haljand (2011)	1,83	0,93	1,72	0,80	1,54	0,84	1,95	0,85	MCBE

v: velocidad media ($m \cdot s^{-1}$); FC: frecuencia de ciclo (Hz); Orden: de mayor a menor FC

Además de caracterizar a cada uno de los estilos, la frecuencia de ciclo es diferente en función de la distancia de nado en cada estilo. En general, la frecuencia de ciclo es menor cuando la distancia de nado es mayor en cada estilo (Craig et al., 1985; Craig y Pendergast, 1979; Leblanc, Seifert, Tourny-Chollet, y Chollet, 2007; Seifert, Boulesteix, Chollet, y Vilas-Boas, 2008). En la Tabla 1.10 Maglischo (1982) muestra unos rangos de FC (Hz) para las diferentes distancias y estilos de competición.

Tabla 1.10: Rangos de FC (Hz) asociados a los estilos y distancias de competición en ambos géneros (adaptado de Maglischo, 1982)

Prueba	Masculino	Femenino
50L	1-1,07	1,12-1,17
100L	0,88-0,93	0,83-0,9
200L	0,8-0,87	0,8-0,83
400L	0,75-0,87	0,7-0,75
800L	-	0,68-0,73
1.500L	0,83-0,88	0,67-0,72
100E	0,73-0,82	0,8-0,85
200E	0,67-0,72	0,7-0,82
100B	0,73-0,88	0,83-0,92
200B	0,7-0,73	0,67-0,75
100M	0,9-0,95	0,83-0,92
200M	0,83-0,9	0,83-0,92

Valores expresados en Hz

Las diferencias entre géneros han sido estudiadas por diferentes autores (Takagi, Sugimoto, Nishijima, y Wilson, 2004; Zamparo, 2006), y en general los nadadores realizan FC más altas que las nadadoras pero no muestran diferencias. Sin embargo, un estudio realizado con nadadores y nadadoras de 100 metros (Morales, 2006) mostró diferencias significativas en los estilos de espalda y braza (Tabla 1.11).

Tabla 1.11: FC en las pruebas de 100 metros de cada estilo (Morales, 2006)

Estilo	Género	FC ($c \cdot \text{min}^{-1}$)	p
Mariposa	m	51,1756	0,94
	f	51,0769	
Espalda	m	42,1276	0,01**
	f	39,2819	
Braza	m	50,1953	0,01**
	f	46,4185	
Crol	m	50,0355	0,08
	f	48,4793	

m: género masculino; f: género femenino; FC: frecuencia de ciclo; $c \cdot \text{min}^{-1}$: ciclos en un minuto; p: nivel de significación

Si bien, algunos estudios han mostrado que las diferencias de la FC entre géneros pueden deberse a las diferencias antropométricas (Chatard, Lavoie, y Lacour, 1991; Grimston y Hay, 1986; Pelayo, Sidney, Kherif, Chollet, y Tourny, 1996), las modificaciones antropométricas estadísticamente significativas provocadas por el crecimiento no presentan modificaciones en la FC (Tella, Llana, Madera, y Navarro, 2003). Otros estudios longitudinales, han observado una disminución de la FC que se podrían justificar por cambios en la envergadura de los nadadores (Chatard, 1986; Lavoie y Montpetit, 1986; Pelayo, Sidney, Weissland, Carpentier, y Kherif, 1995; Reischle, 1993; Tella, Llana, Madera, y Navarro, 2002) o por una mejor eficiencia propulsiva (Toussaint, Janssen, y Kluft, 1991; Zamparo, 2006; Zamparo et al., 2008). Estudios transversales (Chollet, Tourny-Chollet, y Gleizes, 1999; Zamparo, 2006), muestran que los nadadores de mayor edad son capaces de nadar a más velocidad con una FC menor durante las pruebas de 50 metros crol.

La relación entre velocidad y FC pone de manifiesto que los nadadores de mayor velocidad obtienen mayores FC (Barbosa, Fernandes, Keskinen, y Vilas-Boas, 2008; Craig et al., 1985; Craig y Pendergast, 1979), si bien en nadadores jóvenes (Arellano, López-Contreras, y Sánchez-Molina, 2003) apenas se muestran correlaciones entre el tiempo total de la prueba de 100 metros de cada estilo y la FC.

1.2.2. Longitud de ciclo

En general la longitud de ciclo se ha considerado un parámetro que caracteriza el rendimiento de las acciones cíclicas (Cappaert, Pease, y Troup, 1995; Kennedy, Brown, Chengalur, y Nelson, 1990). Sus valores son específicos para cada estilo y distancia. Un ejemplo se muestra en la Tabla 1.12 con los valores medios obtenidos en la prueba de 50 metros en campeonatos internacionales (Kilani y Zeidan, 2004).

Tabla 1.12: LC de las pruebas de 50 metros en los cuatro estilos en los campeonatos de Fukuoka 2001, Berlín 2002 y Barcelona 2003 (Kilani y Zeidan, 2004)

CROL	MARIPOSA	ESPALDA	BRAZA
2,05	1,77	1,88	1,55

Valores expresados en metros

En cada estilo, el aumento en la distancia de competición se caracteriza con valores superiores (Pai et al., 1984). En función del género, los valores de la LC son superiores para el género masculino que para el género femenino, en los cuatro estilos de nado (Sánchez-Molina y Arellano, 2002; Seifert, Boulesteix, y Chollet, 2004; Seifert, Chollet, y Chatard, 2007). Para el estilo crol, esta diferencia puede ser de hasta el 12% (Arellano et al., 1994; Sánchez-Molina y Arellano, 2002).

Con respecto a su relación con variables de tipo antropométrico, la LC muestra correlaciones de tipo medio con la altura ($r=0,385$) y la envergadura ($r=0,366$) (Seifert, Chollet, y Chatard, 2007; Seifert, Delignieres, Boulesteix, y Chollet, 2007). Si bien, con el incremento de la edad están implícitas tanto incrementos de tipo antropométrico, físico o técnico, Morales (2006) estableció coeficientes de determinación entre la edad y la LC, para el género masculino ($R^2=0,480$) y para el género femenino ($R^2=0,542$), que ponen de relevancia el porcentaje de mejora de la LC que depende de la edad. Las diferencias de longitud de ciclo en función del nivel de rendimiento, han sido ampliamente estudiadas y pueden representar valores inferiores para los nadadores de menor nivel de hasta un 15% (Kilani y Zeidan, 2004; Seifert, Delignieres, et al., 2007).

1.2.3. Índice de ciclo

El índice de ciclo ha sido utilizado para caracterizar la eficiencia en todos los estilos (Invernizzi, Scurati, Michielon, y Pizzini, 2006; Mason y Cossor, 2000; Smith, Norris, y Hogg, 2002; Xu-Hong y Hong-Hui, 2006). Se correlaciona positivamente ($r=0,97$) con el $\dot{V}O_2\text{max}$ en el estilo crol (Costill et al., 1985). El crol es el estilo con mayor IC, seguido de la espalda, la mariposa y, por último, la braza (Costill et al., 1992; Pelayo, Wille, Sidney, Berthoin, y Lavoie, 1997; Sánchez-Molina y Arellano, 2002; Wakayoshi, Yoshida, Ikuta, Mutoh, y Miyashita, 1993).

También el IC cambia en función de la distancia de nado en todos los estilos. A menor distancia, menor es el índice (Sánchez-Molina y Arellano, 2002). En función del género, el IC presenta valores más altos en los nadadores que en las nadadoras (Sánchez-Molina y Arellano, 2002). Asimismo, este índice muestra mayores valores en los nadadores de mayor edad en ambos géneros (Morales, Arellano, Femia, y Mercadé, 2010; Morales, 2006; Tella et al., 2002, 2003). Con respecto a su capacidad para caracterizar el rendimiento, Sánchez-Molina y Arellano (2002) afirman que los nadadores de nivel internacional obtienen valores más altos que los de nivel nacional.

1.2.4. Índice de coordinación

Este índice cuantifica la alternancia entre las acciones propulsivas en los diferentes estilos. En general, el IdC muestra coordinaciones en punto muerto o *Catch-up* ($\text{IdC}<0$) tanto para estilos de crol y espalda, como en mariposa y braza en pruebas de 50 metros (Chollet et al., 2000, 2008). El estilo que más se aproxima a una coordinación en oposición ($\text{IdC}=0$), es el crol (-0,9), seguido de la espalda (-9,9), y la mariposa (-11,2), quedando la braza (-19,18) con el mayor lapso de tiempo entre acciones propulsivas. En la medida que la distancia de competición aumenta el tiempo en punto muerto aumenta.

En crol, Schnitzler, Seifert, Ernwein, y Chollet (2008) analizaron el comportamiento del IdC en velocidades obtenidas en distancias comprendidas entre 3.000 y 50 metros para el estilo crol, y observaron diferencias significativas en el valor del IdC al aproximarse a 0 (oposición) conforme se reducía la distancia de nado. En la espalda, el

IdC es en todas las distancias en punto muerto o *catch up* ($IdC < 0$) y muestra valores que oscilan entre -25 a -5% aumentando progresivamente su valor de manera significativa entre las distancias de 50, 100 y 400 metros (Chollet et al., 2008; Schnitzler, Seifert, Alberty, y Chollet, 2010; Seifert y Chollet, 2008). En el estilo braza Chollet, Seifert, Leblanc, Boulesteix, y Carter (2004) observaron descensos significativos conforme la distancia de nado se reducía de 200 a 50 metros. En el estilo mariposa, se reduce significativamente en distancias de 400 a 50 metros (Chollet et al., 2006).

Con respecto al género, el IdC presenta valores similares tanto para el género masculino como para el femenino en una misma distancia de competición. Si bien, en las distancias cortas las nadadoras pueden mostrar coordinaciones en superposición ($IdC > 0$) (Seifert, Chollet, y Chatard, 2007). No se han encontrado diferencias de IdC en función de variables de tipo antropométrico como la altura y la envergadura (Seifert, Chollet, y Rouard, 2007).

En función del nivel de rendimiento, los nadadores de mayor nivel de rendimiento en crol son capaces de tener valores en superposición a velocidades máximas ($IdC = 2,8\%$), mientras que los nadadores de menor nivel mostraron que sólo son capaces de coordinaciones en punto muerto en todas las velocidades de nado, para las acciones en todos los ritmos desarrollados (Chollet et al., 2003; Seifert, Chollet, y Rouard, 2007).

En mariposa, los lapsos de tiempo entre las acciones de miembros superiores e inferiores son menores, tanto en los nadadores y nadadoras de mayor nivel de rendimiento con respecto a los de menor nivel de rendimiento (Seifert et al., 2008). También en braza, la diferencia entre nadadores de mayor nivel y menor nivel de rendimiento, se concreta con que los nadadores reducen sus tiempos muertos entre las acciones propulsivas de miembros superiores e inferiores (Chollet et al., 2002).

1.2.5. Velocidad intraciclo

La variación de la velocidad durante un ciclo de nado representa el efecto de todas las fuerzas aplicadas durante el nado (Buckwitz, Bähr, y Ungerechts, 2003), y podrían representar la capacidad del nadador para coordinar las fuerzas propulsivas que intervienen durante el nado (Vilas-

Introducción

Boas, 1992). Además, estos cambios de la velocidad intraciclo han sido estudiados por diferentes autores como medida de eficiencia propulsiva. Las variaciones de velocidad en un ciclo de nado se conocen como “fluctuaciones de velocidad intraciclo” o “variaciones de la velocidad intraciclo” (Holmér, 1979).

La observación del perfil de la velocidad intraciclo ya muestra diferencias entre estilos. En crol, Maglischo (1987) y Schleihauf et al. (1988) muestran varios picos velocidad por ciclo de nado. En concreto, dos grandes picos de velocidad durante un ciclo de nado responde a un patrón típico en crol. Schleihauf et al. (1988) describe 4 picos de velocidad estilo mariposa. Craig, Termin, y Pendergast (2006) indican que este patrón presenta variaciones ante diferentes nadadores e incluso en diferentes ciclos de un mismo nadador. El ciclo de nado en braza se caracteriza por dos picos de velocidad (Capitão et al., 2006; Craig, Boomer, y Skehan, 1988). El estilo espalda está representado por una mayor variabilidad en el número de picos durante un ciclo completo de nado (Maglischo, 2009). Recientemente, (Barbosa et al., 2013) han representado los perfiles intraciclo para cada uno de los estilos de nado en nadadores jóvenes con una muestra de ambos géneros (Figura 1.1).

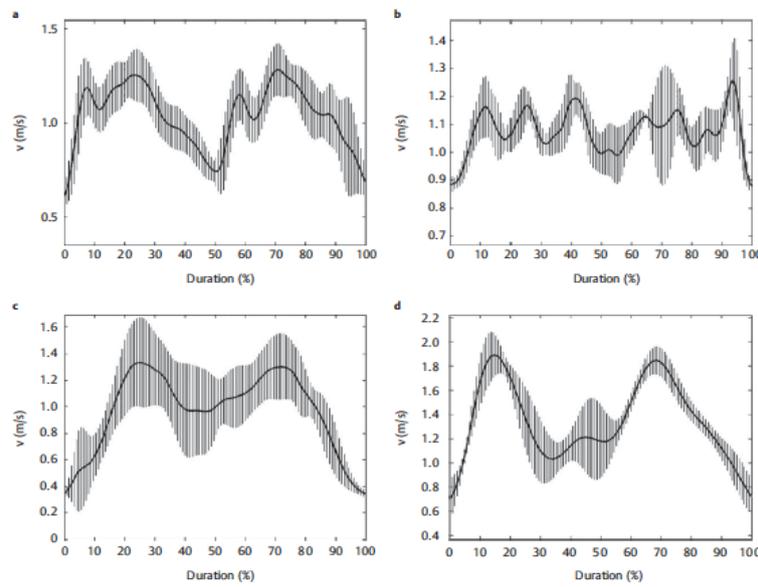


Figura 1.1: Valores medios y desviaciones estándar de la velocidad intraciclo en crol (a), espalda (b), braza (c) y mariposa (d) (adaptado de Barbosa et al., 2013)

Con respecto a las variaciones porcentuales de la velocidad intraciclo, las fluctuaciones de velocidad también van a depender en primera instancia del estilo (Alves et al., 1998; Craig y Pendergast, 1979). Mientras el crol y la espalda presentan variaciones de $\pm 15-20\%$, la mariposa y la braza muestran variaciones de un $\pm 45-50\%$ aproximadamente (Craig y Pendergast, 1979). Otros estudios confirman porcentajes similares (Balonas et al., 2006; Morouço, 2009), mostrando al estilo crol como el de menor variación de la velocidad intraciclo y la braza como el de mayor. Aunque Balonas et al. (2006) no encontraron correlaciones significativas entre el tiempo total de nado a velocidad de VO_{2max} y las variaciones de velocidad intraciclo, los estilos de movimientos simultáneos se caracterizaron por una relación inversa (negativa) entre ambas variables, mientras que los alternos mostraron una relación directa (positiva). La falta de correlación significativa puede deberse al bajo número de la muestra (3 por estilo), y el desconocimiento de la contribución energética relativa de cada estilo a la velocidad VO_{2max} (Balonas et al., 2006).

Además del estilo, el cambio de coordinación dentro de un mismo estilo puede provocar cambios porcentuales en las variaciones de la velocidad. En el caso de la braza, la braza ondulada presenta menores variaciones que la braza plana (Tourny, Chollet, Micallef, y Macabies, 1992; Vilas-Boas, 1996). El gasto energético ha sido relacionado con la mayor o menor variación de la velocidad intraciclo. Así el gasto energético es mayor cuanto más altos sean los valores de variación intraciclo (Barbosa et al., 2005; Vilas-Boas, 1996). En esta línea, Barbosa et al. (2006) muestran que los estilos con menor gasto energético son los que presentan una menor variación de la velocidad intraciclo, siendo el crol el más económico, después la espalda, la mariposa y el que más gasto energético produce es la braza, con las mayores variaciones de la velocidad intraciclo.

La variación de la velocidad intraciclo con respecto a diferentes velocidades de nado muestran disparidad entre estudios (Barbosa, Fernandes, Morouço, y Vilas-Boas, 2008). Craig y Pendergast (1979)

muestran una relación positiva, posiblemente debida al aumento de la resistencia al avance (Holmér, 1974). Otros autores no establecen relación entre estas dos variables (Schnitzler et al., 2008; Seifert et al., 2008), mientras que otros autores (Hahn y Krug, 1992; Manley y Atha, 1992; Takagi et al., 2004; Togashi y Nomura, 1992) indican una relación negativa, es decir los incrementos de la velocidad se puede asociar con descensos en el porcentaje de la velocidad intraciclo. De manera más concreta, Psycharakis, Naemi, Connaboy, McCabe, y Sanders (2010) muestran una relación ($r=0,70$) entre la fluctuación de la velocidad y la velocidad horizontal de desplazamiento, en una prueba de 200 metros crol a máxima velocidad, sin embargo Schnitzler, Ernwein, Seifert, y Chollet (2006) muestran que la relación no existe en nadadores de nivel internacional.

Con respecto al género, las menores fluctuaciones de la velocidad que presentan las nadadoras no son estadísticamente significativas (Capitão, 2005; Capitão et al., 2006; Schnitzler et al., 2008). Manley y Atha (1992) indican que estas diferencias estarían relacionadas con parámetros antropométricos y de generación de fuerza. Con respecto al nivel de rendimiento, en braza se observan diferencias entre nadadores de diferente nivel en 200, 100 y 50 metros, siendo las fluctuaciones más altas en los de nivel internacional (Leblanc et al., 2007). En el crol, Schnitzler et al. (2006) no encontraron diferencias en función del nivel, siendo menores en los nadadores internacionales, posiblemente debido a su mejor eficiencia técnica (Fujishima y Miyashita, 1999; Vilas-Boas, 1996).

A modo de resumen, los estilos de nado se caracterizan en función de su frecuencia (FC), de su eficacia (longitud de ciclo), de su eficiencia (índice de ciclo y variación de la velocidad intraciclo) y de su coordinación (IdC). Además del estilo, estas características pueden variar entre otros aspectos en función del género y de la velocidad de nado. A finales de la década de los 70 (Holmér, 1979) empieza a tener interés por parte de los investigadores, el análisis de la aceleración como resultante de las fuerzas que se aplican durante el nado, y su relación con los parámetros anteriores.

1.3. Aceleración

El nadador interactúa con el agua provocando una serie de fuerzas propulsivas y de frenado. Así, la aceleración que se produce durante un ciclo de nado es la resultante de estas fuerzas (Ungerechts, 1988). Las diferentes acciones propulsivas son contrarrestadas por las fuerzas de resistencia hidrodinámica (Vilas-Boas, 1997), provocando una serie de aceleraciones y deceleraciones, que determinarán su eficacia o velocidad de nado final, y que será diferente de un estilo a otro (Craig et al., 2006). Para el análisis de la aceleración se han seguido diferentes metodologías, que se diferencian fundamentalmente en el sistema de registro que han utilizado. En especial, se destacarán aquellos trabajos que han utilizado como base un acelerómetro.

1.3.1. Metodología para el análisis de los registros de aceleración

La fotogrametría ha sido utilizada para el análisis cinemático en natación, y aunque ha mostrado alta precisión, su funcionalidad y puesta en práctica es muy laboriosa y lenta. Pero además, para obtener los resultados se necesitan muchos pasos que pueden contribuir a aumentar los errores de medición, derivados de la calibración del sistema y del proceso de digitalización (Gourgoulis et al., 2008; Slawson, Conway, Justham, Le Sage, y West, 2010). Según Stamm, James, Burkett, Hagem, y Thiel (2013), los sistemas basados en sistemas ópticos no obstaculizan a los nadadores durante el registro de datos, pero sus desventajas son (i) una configuración compleja que requiere mucho tiempo, (ii) la inexactitud en la medición, debido a los puntos de referencia irreconocibles causadas por burbujas o turbulencias de agua, (iii) el error de paralaje y (iv) un proceso que lleva tiempo para digitalizar las imágenes de vídeo que no permite el procesamiento en tiempo real. Además, se limita la recolección de datos a un máximo de dos ciclos de brazada (Seifert et al., 2014).

Otros sistemas, como los medidores de velocidad, pueden proporcionar también medidas exactas (Craig y Pendergast, 1979) y minimizan estas desventajas, sin embargo sus registros se limitan a la distancia que es capaz de alcanzar el cable del velocímetro (i.e. 25

Introducción

metros), y en consecuencia sólo al registro de datos durante la primera piscina de nado. Además, en función de la resistencia que puede ofrecer el sistema podría modificar la técnica de nado. Otra de las limitaciones que tiene este método, es que solamente permite calcular la aceleración en una dirección (1D) (Madera, 2011; Tella et al., 2008). En la Figura 1.2 se observa el proceso seguido por Tella et al. (2008), para transformar la velocidad intraciclo en variables temporales y frecuenciales de la aceleración.

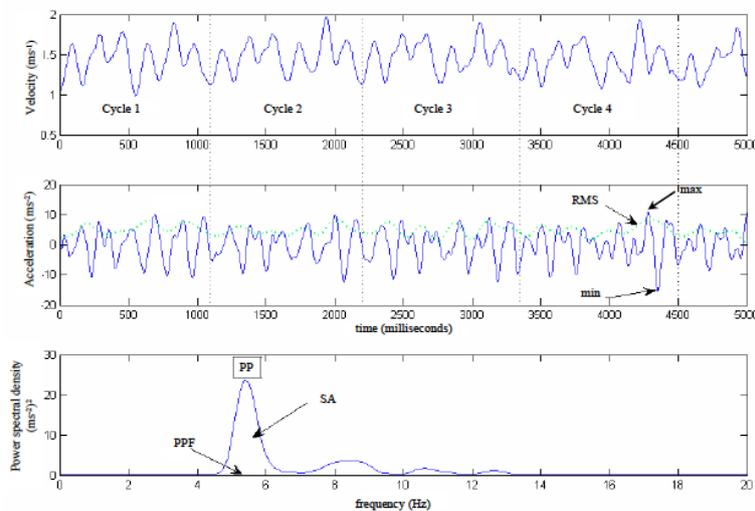


Figura 1.2: Ejemplo de un análisis realizado con la señal de posición con respecto al tiempo, representando la velocidad intraciclo en el primer rectángulo, los cambios intraciclo en relación a la aceleración en el segundo así como RMS, MAX y MIN, y en el rectángulo inferior se representa el análisis frecuencial de la aceleración así como PP, PPF y SA (Tella et al., 2008)

Recientemente los acelerómetros han sido utilizados en diferentes ámbitos de la actividad física y el deporte. Para que estos acelerómetros sean útiles, deben poseer la siguientes características (i) fácil portabilidad (tamaño, peso, capacidad inalámbrica), (ii) validez, (iii) alta precisión del sensor, y (iv) confiabilidad de la medición (Cuesta-Vargas, Galán-Mercant, y Williams, 2010). Además de estas características, estos sensores se pueden diferenciar en función del procesamiento y de la transmisión de la señal registrada (Salazar, Silva, Borges, y Correia,

2010). Con respecto a la frecuencia de registro, Siirtola, Laurinen, Roning, y Kinnunen (2011) establecen las mínimas frecuencias necesarias para determinar el estilo y la intensidad de nado (5Hz), e identificar las acciones de nado (10Hz).

Con respecto al uso de los acelerómetros en el análisis de la actividad física, los principales estudios han utilizado sensores capaces de valorar estas cuestiones de aceleración, asentándose como un instrumento para medir y evaluar el movimiento humano (Pelham, Robinson, y Holt, 2006), como queda de manifiesto en el análisis de cuestiones tan habituales como el caminar, evaluando las formas de caminar centradas en los movimientos del tren inferior (Bonnet et al., 2013), con la intención de determinar y evaluar la capacidad motriz, de personas con diferentes edades y estados de salud. Según Company (2014), también han sido utilizados (i) para determinar la actividad física diaria en personas con problemas de movilidad, (ii) para monitorizar partidos, (iii) para medir la velocidad angular y la aceleración de desplazamiento de una persona.

En el análisis de la actividad deportiva su uso se ha generalizado en deportes de tipo cíclico. Un ejemplo es el kayak, donde sus principales objetos de estudio han sido, el cálculo de la cadencia más eficiente de movimientos para aumentar el rendimiento (Llosa, Vilajosana, Navarro, Surinach, y Marquès, 2009), o la intención de evitar lesiones (Croft y Ribeiro, 2013). Otro ejemplo es el ciclismo (Zhang et al., 2012). Por último, también aparecen análisis intracíclicos en deportes como la hípica donde se ha analizado el paso del caballo (Pfau, Witte, y Wilson, 2005), y el atletismo donde se ha analizado la zancada (Tan, Wilson, y Lowe, 2008).

Una revisión de los sensores utilizados para el estudio de la aceleración en natación, muestra tanto aquellos que registran datos de aceleración en una dirección (1D) (Jidovtseff, Croisier, Demoulin, y Crielaard, 2008), en dos direcciones (2D) (Tella et al., 2007), como en las tres direcciones (3D) (Gatta et al., 2008).

1.3.1.1. Estudios con acelerómetros en natación

Los acelerómetros se han utilizado para identificar el estilo de nado (Davey, 2004), y también para calcular parámetros cinemáticos como la frecuencia de movimientos (Davey, Anderson, y James, 2008). En

general, estos estudios han colocado los acelerómetros en una zona próxima al sacro. También han sido utilizados para identificar las diferentes fases de un ciclo de nado situando el sensor en la muñeca del nadador (Ichikawa, Ohgi, y Miyaji, 1999; Ichikawa, Ohgi, Miyaji, y Nomura, 2002; Ohgi, Ichikawa, Homma, y Miyaji, 2003; Ohgi, Ichikawa, y Miyaji, 1999; Ohgi, 2002).

Los acelerómetros, además de mostrar una buena precisión para reconocer los diferentes estilos de nado y de contar el número de brazadas en cada piscina con frecuencias de registro bajas (entre 5Hz y 25 Hz), (Siirtola et al., 2011) identifican hasta tres diferentes intensidades de nado (baja, media y alta) con buena precisión (entre 85% y 90%) con los registros realizados a baja frecuencia (5Hz) colocando el acelerómetro en la zona alta de espalda. Hou (2012) presenta resultados similares sobre registros realizados a baja frecuencia, poniendo de relieve el interés de este tipo de registros para que pueden ser utilizados en aplicaciones que no requieran de cálculos pesados.

Con respecto a los estudios que han analizado la señal de la aceleración para calcular la velocidad de nado cabe destacar el trabajo de Stamm, Thiel, Burkett, y James (2011). Este trabajo muestra algunas limitaciones para derivar la velocidad de la señal de la aceleración, ya que sus resultados muestran diferencias en la velocidad de nado en crol próximas al 20% y a un 4% en el coeficiente de variación intraciclo. Sin embargo, el uso de acelerómetros para calcular la velocidad de nado en fases no cíclicas, como las fases de impulso de las salidas y de los virajes, ha sido validado por Stamm, James, Burkett, Hagem, y Thiel (2013). Estos autores con equipos inerciales de bajo coste, compuestos sólo con un acelerómetro 3D han validado la velocidad *push-off* o deslizamiento, derivada de la aceleración total con respecto a la velocidad obtenida con un velocímetro (medida criterio). Una correlación casi perfecta ($r = 0,94$), muestra que un sólo sensor inercial situado en la zona sacra es un método válido para obtener la velocidad *push-off* de los nadadores en su impulso de la pared. Posiblemente, la escasa variación de la posición del cuerpo durante esta fase haya permitido esta validación, mientras que para las acciones cíclicas del nado sea necesario la sincronización con otros sensores (i.e. giroscopio y magnetómetro).

La posibilidad de retroalimentar en tiempo real al nadador en base a los registros obtenidos en un acelerómetro 3D también ha sido objeto de estudio, pudiendo proporcionar medidas detalladas por telemetría y un *feedback* instantáneo (Company, 2014). Algoritmos de filtrado y procesamiento de señales se describen por Le Sage, Bindel, Conway, Slawson, y West (2011), con el objetivo de analizar los datos de aceleración en tiempo real y ser embebidos dentro de un sensor inalámbrico que transmite datos relativos al número de ciclos, frecuencia de ciclo, distancia, velocidad media y número de piscinas. En otro estudio, Hageman et al. (2013) presentan un prototipo compuesto por un acelerómetro 3D y unas gafas. Así, mediante el tiempo realizado entre dos picos sucesivos de aceleración producidos en la dirección lateral, se calcula la frecuencia de ciclo y se transmite a través de un LED en las gafas de nado, que cambian de color en función del valor de la frecuencia (bajas de color rojo, óptimas de color verde y altas de color azul).

Desde una perspectiva más cualitativa, Khoo, Lee, Senanayake, y Wilson (2009) han sincronizado la aceleración 3D con las imágenes de vídeo durante el nado. A través del sistema de sincronización WSVSS (*Within-Stroke Variations of Speed in Swimming*), los autores detectan la aceleración en sus diferentes fases y pueden identificar los patrones de respiración en base a los registros de aceleración.

En los últimos años, estos sensores han integrado giroscopios y magnetómetros. La aparición de unidades de medida inercial (*Inertial Measurement Units* o IMU) que incorporan un acelerómetro 3D, un giroscopio 3D (para conocer las orientaciones del cuerpo), y un magnetómetro (para conocer la posición absoluta del nadador en la piscina), está abriendo nuevos campos de investigación y aplicación en el ámbito de la actividad física y el deporte.

1.3.1.2. Estudios con IMUs provistos con acelerómetro y giroscopio en natación

En la línea de los estudios anteriores, autores como Salazar et al. (2010) y James, Burkett, y Thiel (2011) han permitido monitorizar las señales obtenidas de manera sincrónica, de un sensor que integraba un acelerómetro y un giroscopio situado en el sacro, otro sensor de las mismas características situado en el antebrazo, y las imágenes de vídeo

Introducción

subacuáticas del nadador, para identificar las diferentes fases de nado y de la brazada.

Silva, Salazar, Borges, y Correia (2013) presentaron un prototipo para el control del análisis del rendimiento en natación, basado en acelerómetros y giroscopios, capaz de proporcionar datos que caracterizan a los diferentes estilos de nado (Figura 1.3), como el estilo crol (*crawl technique*), el estilo mariposa (*butterfly technique*) y el estilo braza (*breaststroke technique*).

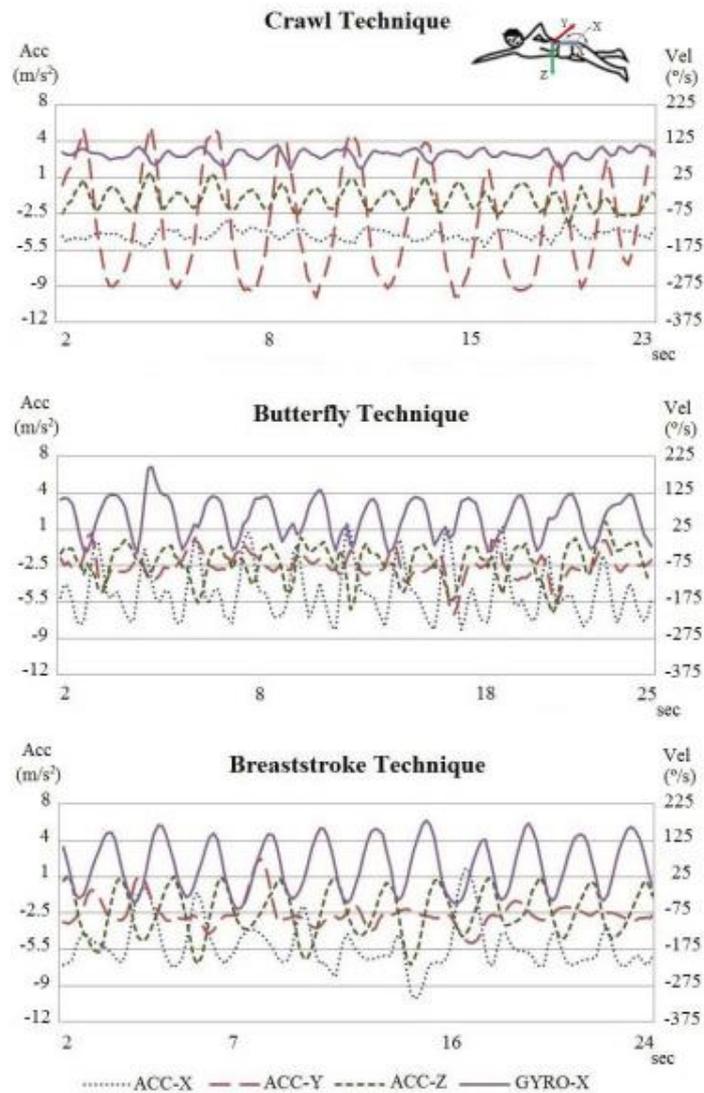


Figura 1.3: Señales capturadas por parcial para cada técnica analizada (Silva et al., 2013)

La estimación de la orientación ha sido un paso más en el estudio de las aceleraciones que produce el nadador, permitiendo medir velocidades angulares a las que está sujeto. Esto ha sido posible incorporando sensores que integran un acelerómetro y un giroscopio. Los ángulos de Euler (ϕ , θ , ψ) corresponden con los ángulos convencionales de *roll* (ϕ), *pitch* (θ) y *yaw* (ψ), que se utilizan en navegación para especificar la actitud de un móvil (Grewal, Weill, y Andrews, 2007). En un nadador, el ángulo *roll* (ϕ) es el giro sobre su eje longitudinal, el ángulo *pitch* (θ) es el giro sobre su eje transversal, y el ángulo *yaw* (ψ) es el giro sobre su eje antero-posterior (Figura 1.4). Estas referencias permiten realizar cálculos que integran las señales de aceleración y de velocidad angular, para cuantificar la actitud del nadador, y las aceleraciones producidas en función de la dirección de nado.

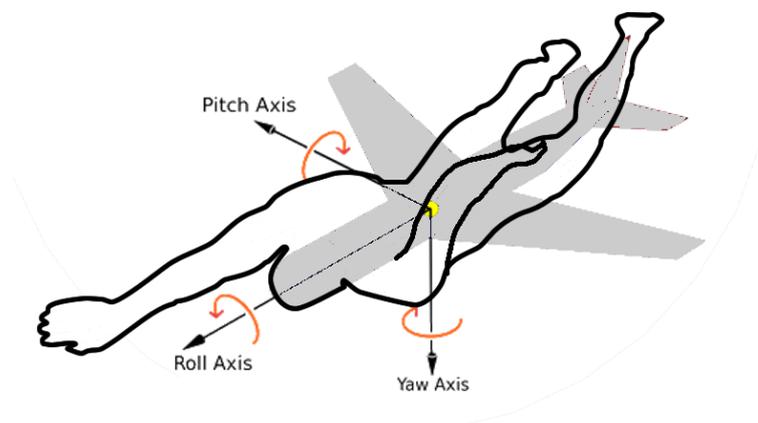


Figura 1.4: Ángulos Euler necesarios para conocer la actitud del nadador

Le Sage, Bindel, Conway, Justham, et al. (2010) desarrollaron un estudio para el procesamiento, la transmisión y presentación de la actitud, la velocidad y la posición del nadador. De esta manera, su monitorización inalámbrica permitía rastrear al entrenador estos parámetros cinemáticos a tiempo real. Posteriormente, este grupo de investigación validó los parámetros obtenidos en los cuatro estilos de nado, comparándolos con la

filmación de las imágenes en vídeo (Le Sage, Bindel, Conway, Justham, et al., 2011).

Los resultados de velocidad obtenidos en natación a través de estos sensores, han sido validados tomando como referencia la velocidad registrada a través de un velocímetro (Dadashi, Crettenand, Millet, y Aminian, 2012; Stamm, James, y Thiel, 2013). Así, se ha mejorado la precisión en el cálculo de la velocidad de nado alcanzando diferencias próximas al 4% (Dadashi et al., 2012; Stamm, James, y Thiel, 2013), reduciéndose de manera significativa las diferencias obtenidas únicamente a través de la señal de aceleración (Stamm et al., 2011). Con respecto al cálculo del coeficiente de variación de la velocidad intraciclo, las diferencias han sido próximos al 4% (Dadashi et al., 2012), siendo en este caso similares a las obtenidas con sensores que utilizan para su cálculo un acelerómetro (Stamm et al., 2011). En otro estudio Dadashi, Millet, y Aminian (2013) muestran el error de estimación de la velocidad de nado, obtenida tras la integración de la señal de aceleración y del giroscopio en diferentes rangos de velocidad (Tabla 1.13).

Tabla 1.13: Error de estimación a diferentes velocidades de nado (adaptado de Dadashi et al. 2013)

V (m·s ⁻¹)	Error (cm·s ⁻¹)	V (m·s ⁻¹)	Error (cm·s ⁻¹)
0,9-1,0	3,5±3,3	1,5-1,6	-3,6±6,4
1,0-1,1	1,1±4,8	1,6-1,7	-3,7±6,5
1,1-1,2	1,2±5,9	1,7-1,8	-1,7±7,8
1,2-1,3	-1,5±6,1	1,8-1,9	-1,1±7,4
1,3-1,4	-0,8±6,9	1,9-2,0	-2,6±6,9
1,4-1,5	-2,4±6,5	Total	-0,7±6,8

V: velocidad

Estas precisiones son comparables a las realizadas en el estilo braza por Dadashi, Millet, y Aminian (2014a), que compararon la velocidad estimada con un IMU en 15 nadadores de braza, con la velocidad obtenida a través de un velocímetro anclado en la cintura del nadador. Las estimaciones realizadas mostraron una precisión entre 9,6 cm·s⁻¹ y 9,1 cm·s⁻¹. También las precisiones obtenidas en la locomoción terrestre son similares (Mariani et al., 2010).

La incorporación de estos sensores en la muñeca del nadador (Ohgi, 2002), ha permitido obtener los valores de la aceleración en función de los cambios de posición que se realizan durante la tracción del nadador. De esta manera los registros obtenidos, además de identificar las fases de una brazada (Lee, Burkett, Thiel, y James, 2011; Ohgi, Yasumura, Ichikawa, y Miyaji, 2000), pueden ser utilizados para el cálculo de velocidades angulares. Esto ofrece una clara ventaja sobre la cinematografía donde la turbulencia no permite digitalizar de forma precisa los cambios de orientación de la mano.

Otro objeto de estudio con sensores que integran las señales de un acelerómetro (3D) y de un giroscopio (3D) ha sido el cálculo del índice de coordinación (IdC) propuesto por Chollet, Chalies, y Chatard (2000). Así, Dadashi et al. (2013) presentaron un nuevo sistema para la detección automática de la fase temporal y la coordinación entre miembros superiores en crol, colocando un sensor en cada antebrazo y un sensor en el sacro. El cálculo se validó con un sistema basado en las imágenes obtenidas en vídeo. Se obtuvo una diferencia de $0,2 \pm 3,9\%$ entre ambos sistemas en la evaluación del índice de coordinación, comparable a la diferencia obtenida por dos operadores expertos encargados de calcular el IdC a través del sistema de vídeo ($1,1 \pm 3,6\%$). De esta manera, los autores ofrecen a los investigadores y entrenadores un sistema automático, fácil de usar y con una retroalimentación rápida para el estudio de la natación (Figura 1.5).

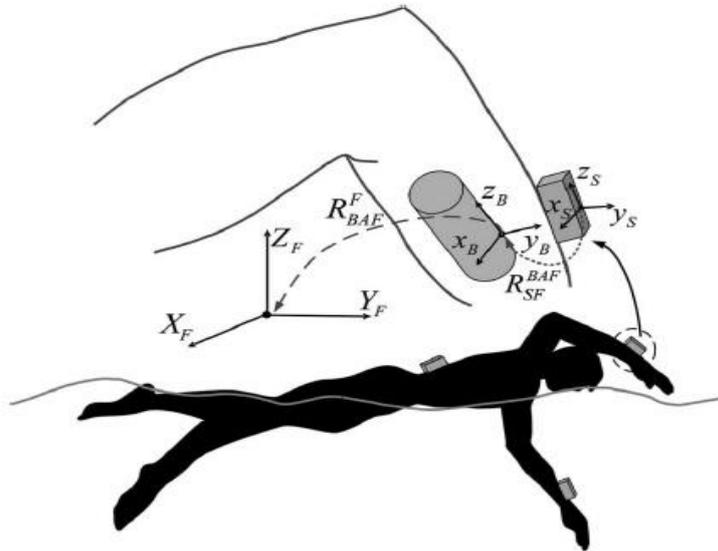


Figura 1.5: Configuración del sensor y diferentes sistemas de coordenadas utilizados en los cálculos (Dadashi et al. 2013)

En otro trabajo Dadashi et al. (2013), validaron la detección de las fases temporales clave en el estilo braza, basadas en el estudio de Seifert y Chollet (2005). Valores medios del 93,5% para la brazada y del 94,4% para la patada, y una precisión mínima de 67 milisegundos en la detección de los eventos clave, cuantifican la exactitud del método. Recientemente Dadashi, Millet, y Aminian (2014b), han propuesto un sistema basado en sensores en el que se integran un acelerómetro y un goniómetro, ambos 3D. El procesamiento de los parámetros antropométricos del nadador con los datos cinemáticos, obtenidos tras el procesamiento de las señales obtenidas de cuatro sensores situados (i) uno en cada antebrazo (ii) uno en el sacro y (iii) uno en una pierna del nadador, permite estimar el gasto de energía realizado en el nado de crol. De esta manera, el sistema propuesto ofrece una nueva herramienta para el estudio conjunto de la cinemática de natación y la bioenergética.

Más allá de los objetivos derivados del análisis cinemático de las acciones de nado a través de los registros realizados con estos sensores, Bächlin, Förster, y Tröster (2009) y Bächlin y Tröster (2009; 2012) centraron sus estudios en desarrollar un prototipo (*Swimmaster*) para el registro y la retroalimentación de señales de la aceleración durante el nado (Figura 1.6). Este prototipo constaba de 3 sensores de

aceleración/giroscopio (i.e. parte baja de la espalda, parte alta de la espalda y muñeca), y tres sistemas de retroalimentación para transmitir información al nadador (i.e. visual, táctil y auditiva). A través de su estudio, desarrollaron una serie de algoritmos para extraer parámetros importantes en natación, como la velocidad media de nado, el número de ciclos, la distancia por ciclo, el equilibrio del cuerpo y la rotación del cuerpo, mostrando la eficacia de los canales visuales y táctiles para dar un *feedback* inmediato al nadador. En esta línea de trabajo, Hagem, O'Keefe, Fickenscher, y Thiel (2013) y Hagem, Thiel, O'Keefe, y Fickenscher (2013) también han desarrollado un prototipo para facilitar un *feedback* visual a través de las señales luminosas, procesadas de los registros de la aceleración en la muñeca del nadador, y que informaban a tiempo real de su frecuencia de ciclo de nado.

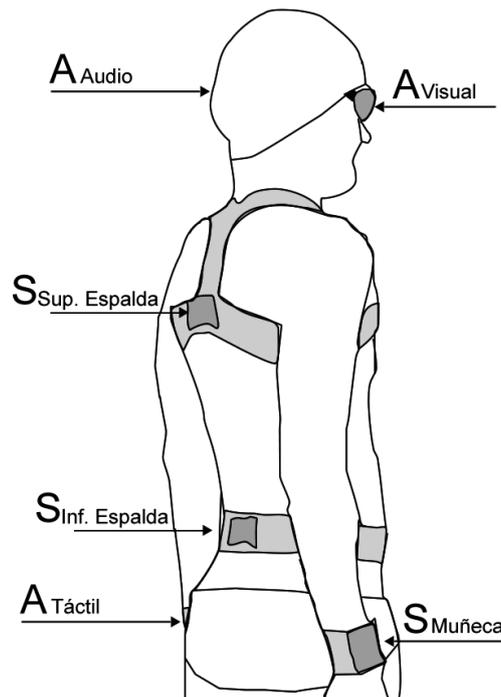


Figura 1.6: Posición de los sensores (S) y transmisores (A) en el nadador (adaptado de Bächlin et al., 2009)

1.3.1.3. Estudios con IMUs provistos de acelerómetro, giroscopio y magnetómetro en natación

Una de las limitaciones que presentan los sensores anteriores, es que requieren de unos cálculos continuos de los registros con respecto a una posición inicial. Esta compensación arrastra con el tiempo una serie de errores incrementales para el cálculo de la velocidad. Estos errores incrementales que se producen con respecto a la posición de referencia inicial, pueden ser corregidos de manera continua con la incorporación de un magnetómetro, que asegura la estabilidad de la dirección del nado y su orientación tomando como referencia el campo magnético de la tierra. De esta manera, las señales derivadas del acelerómetro y del giroscopio, son compensadas continuamente permitiendo calcular de manera más precisa la velocidad de desplazamiento del nadador (Callaway, Cobb, y Jones, 2009).

De esta manera, los sensores que integran las señales derivadas de un acelerómetro, de un giroscopio y de un magnetómetro están siendo utilizados con diferentes fines en el ámbito de la natación. Marshall (2013) muestra una novedosa aplicación para *smartphones* que integra estos sensores. El sistema utiliza un acelerómetro, un giroscopio y un magnetómetro a fin de detectar las variaciones de la aceleración, la orientación del cuerpo, y el posicionamiento magnético del sensor para determinar la las variaciones de la velocidad de nado en crol y en braza (Figura 1.7). Este sistema va más allá que trabajos anteriores, al mostrar los resultados sin un post-procesamiento de la señal posterior al nado (Dadashi et al., 2012). Este tipo de herramientas muestran un potencial importante para favorecer *feedbacks* inmediatos tanto a los nadadores como a sus entrenadores, con el objetivo de adecuar sus técnicas de nado en función de la información registrada. Como ejemplo, estos prototipos han analizado la efectividad de la técnica de respiración en los estilos de braza y crol (Figura 1.7).

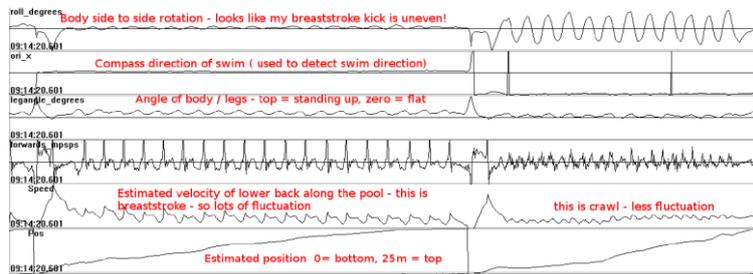


Figura 1.7: Ejemplo de datos obtenidos a través de un Smartphone (Marshall, 2013)

Otros investigadores, han utilizado estos sofisticados sensores para realizar la construcción de modelos de nado a partir del análisis de movimientos de ciertos segmentos corporales (Charrier, Corson, Seifert, Komar, y Bertelle, 2013). En concreto, analizaron los registros realizados por cuatro sensores fijados en el miembro superior (antebrazo y brazo) y en el miembro inferior (muslo y pierna), para determinar modelos de coordinación durante el nado de braza. Si bien los algoritmos utilizados permitían identificar los cambios en la articulación del codo, para la articulación de la rodilla planteaban algunas deficiencias. Sin embargo, y según estos autores, una de las principales aportaciones que justifican seguir desarrollando este tipo de procedimientos para el análisis de las técnicas de nado, es que requería de un bajo número de parámetros, y que permitía una representación simplificada de las trayectorias de las extremidades propulsivas analizadas. Continuando con esta línea de investigación, uno de estos autores, Ludovic Seifert, en colaboración con otros colegas (Seifert et al., 2014) han presentado sus resultados en “*The 2014 Conference of the International Sports Engineering Association*”, mostrando una validez aceptable para reconocer patrones de movimiento y su coordinación entre extremidades durante el nado del estilo braza, con respecto a métodos ópticos.

Así mismo, a partir de los movimientos del cabeceo (en el plano superior-inferior o medio-lateral) y de rolido durante el nado, se ha podido identificar las diferentes acciones del nado (i.e. ciclos de nado y virajes), y los tiempos asociados a éstas a través de un sensor de estas características, situado en las gafas de nado del nadador (Pansiot, Lo, y Guang-Zhong, 2010) (Figuras 1.8 y 1.9)

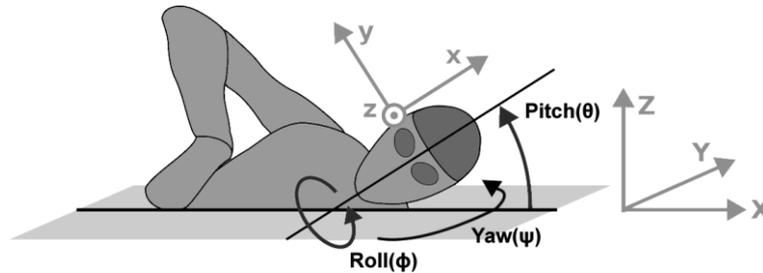


Figura 1.8: El sistema de coordenadas geocéntrico (X, Y, Z), el sistema de coordenadas del acelerómetro (x, y, z) y los ángulos de pitch (θ), roll (ϕ) y yaw (ψ) que definen las oscilaciones de movimiento durante el nado (adaptado de Pansiot et al., 2010)

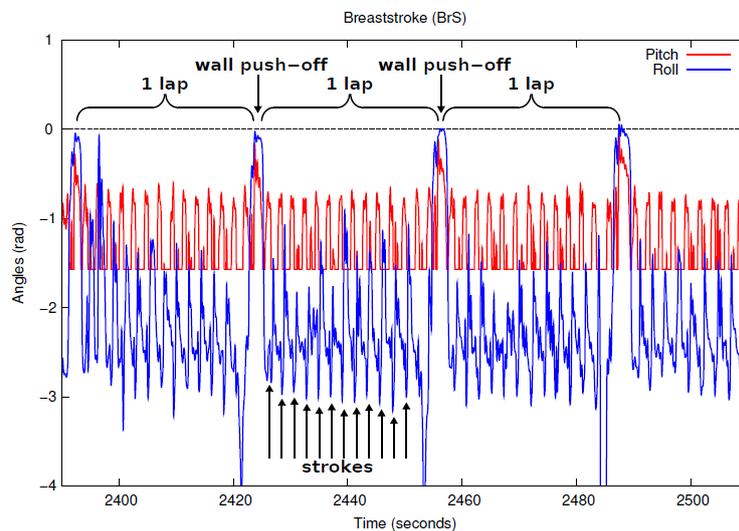


Figura 1.9: Ángulos de pitch y de roll registrados durante una sesión de entrenamiento en el estilo braza. Los ciclos y los impulsos de la pared son obvios. Notar la saturación del ángulo pitch como resultado de la baja aceleración (adaptado de Pansiot et al., 2010)

A modo de resumen y coincidiendo con algunos de los resultados de Magalhaes, Vannozzi, Gatta, y Fantozzi (2014) en su revisión, sobre el análisis del nado con sensores inerciales portátiles de los trabajos publicados antes de agosto de 2013, se puede confirmar su fiabilidad para el análisis biomecánico del nado, permitiendo:

- Identificar las fases de la brazada en crol (Ohgi et al., 2000) y en braza (Ohgi et al., 2003).

- Discriminar los diferentes estilos de natación, ya sea desde su posición en la muñeca o en la parte superior de la espalda (Hou, 2012; Siirtola et al., 2011; Slawson et al., 2008), o derivando los registros de los ángulos de cabeceo o rolido durante el nado de un sensor situado en las gafas de nado (Pansiot et al., 2010), o en la cintura del nadador (Vannozzi, Donati, Gatta, y Cappozzo, 2010).
- Diferenciar las fases cíclicas y acíclicas del nado como son los tiempos de nado y del viraje. En concreto, determinar el número de ciclos, la velocidad media de nado, o el tiempo del viraje por cada piscina realizada (Le Sage et al., 2010).
- Calcular la velocidad de nado intraciclo (Dadashi et al., 2014b; Dadashi, Millet, et al., 2013) o la coordinación entre las acciones propulsivas (Dadashi, Arami, et al., 2013; Dadashi, Crettenand, et al., 2013; Seifert et al., 2014).
- Estimar el gasto de energía durante el nado (Dadashi et al., 2014b; Nordsborg et al., 2014).

Sin embargo, el procesamiento posterior de los registros debería permitir que los entrenadores den una retroalimentación inmediata a sus nadadores. Bächlin et al. (2009), Bächlin y Tröster (2012) y Le Sage et al. (2010) son algunas de los primeros trabajos que han comenzado a considerar el desarrollo de métodos de retroalimentación en tiempo real en el agua. Si bien:

- Algunos problemas de transmisión derivados de la interfase aire-agua en la que se desplaza el nadador, deben ser solucionados para garantizar la recepción íntegra de los registros (Hagem, O'Keefe, et al., 2013; Hagem, Thiel, et al., 2013; Le Sage, Bindel, Conway, Justham, et al., 2011).
- Mostrando los resultados sin un post-procesamiento de la señal posterior al nado, con sensores integrados a equipos portátiles, como un *smartphone*, que permiten de manera inmediata informar al nadador (Marshall, 2013).

También su colocación y su correspondiente fijación deben minimizar (i) la fuerza de arrastre (Bächlin y Tröster, 2009; Callaway et al., 2009; Davey, 2004; James, Moritz, y Haake, 2006), (ii) su influencia o molestias durante las acciones de nado (Davey, 2004; James et al.,

2006) y (iii) no limitar el movimiento libre del nadador (Bächlin y Tröster, 2012) para la evaluación cinemática del nado.

En general, los estudios con estos sensores han ido evolucionado (i) integrando los registros de diferentes sensores (acelerómetro, goniómetro y magnetómetro) y (ii) mejorando los algoritmos necesarios para el cálculo de algunos parámetros cinemáticos caracterizadores de los diferentes estilos de nado. Sin embargo, al contrario que con otros métodos de registro de los parámetros cinemáticos (i.e. fotogrametría y velocimetría), estos sensores permiten aumentar la cantidad de información registrada, más allá de un solo ciclo de nado o de los ciclos que se puedan realizar a lo largo de una única piscina. De esta manera los cambios derivados de la fatiga o de la estrategia de nado durante una competición o un entrenamiento pueden ser evaluados. Sin embargo, será necesario para el desarrollo de la tecnología y la interpretación de los datos, que se deriven la colaboración de todas las partes interesadas (i.e. nadadores, entrenadores y científicos del deporte), para que sus resultados sean útiles en el hacer de la práctica deportiva de la natación (James et al., 2006).

El siguiente subapartado muestra los principales resultados de los estudios que han puesto de relevancia la aceleración, como resultante de las diferentes acciones de nado.

1.3.2. La aceleración como resultante de los diferentes estilos de nado

La aceleración que se produce durante el nado ha sido estudiada desde dos perspectivas o dominios (temporal y frecuencial). El estudio de la aceleración en el dominio temporal pone de manifiesto la magnitud de la aceleración en el tiempo, mientras que el estudio de la aceleración en el dominio frecuencial pone de relieve la frecuencia a la que se producen las aceleraciones en el tiempo.

1.3.2.1. La aceleración en el dominio temporal

Así, la aceleración en cada uno de los estilos se puede caracterizar en el dominio temporal. Madera (2011) caracterizó la aceleración en los cuatro estilos de nado después de derivar los registros obtenidos con un velocímetro. Para caracterizar la aceleración en el dominio temporal, se

ha utilizado el valor cuadrático medio de la aceleración (*Root Mean Square* o RMS), que se considera como el valor eficaz de la aceleración. También han sido utilizados los valores máximos (MAX) y mínimos (MIN) de los registros de la aceleración durante un ciclo de nado. Así, Madera (2011) obtiene que los estilos de mayor a menor producción de RMS son el estilo mariposa, el estilo crol, el estilo braza y por último el estilo espalda. Este orden es similar con respecto a los valores máximos y mínimos de aceleración durante un ciclo de nado (Figura 1.10).

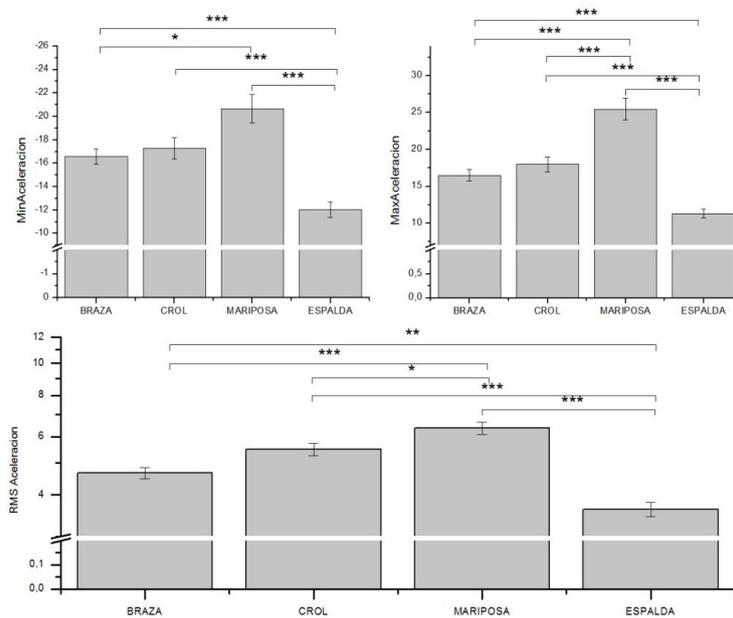


Figura 1.10 Gráficas de las diferencias entre los estilos de las variables temporales de la aceleración RMS, MIN y MAX (Madera, 2011)

Además, estas variables temporales de la aceleración pueden caracterizar los estilos de nado en función del género. En general, los nadadores muestran mayores valores de producción de aceleración (RMS), mayores valores máximos de aceleración y menores de aceleración mínima (Madera, 2011), en todos los estilos en una prueba de 25 metros cuando fueron evaluados en una dirección con un velocímetro a velocidad máxima (1D). También Company (2014) encontró diferencias entre géneros en el estilo crol en una prueba a tres intensidades

submáximas (85%, 90% y 95%) sobre la distancia de 1500 metros en la dirección antero-posterior (3D), pero en este caso las nadadoras obtuvieron mayores valores de RMS que los nadadores. Sin embargo, en la dirección medio-lateral, fueron los nadadores quienes obtuvieron mayores valores de RMS. La discrepancia manifiesta por estos dos estudios estaría poniendo de relieve que la aceleración obtenida con un velocímetro (1D), no discrimina la dirección en la que se está produciendo la aceleración. De esta manera los mayores valores de aceleración obtenidos por los nadadores con el velocímetro, podrían ser justificados por la capacidad de producir mayores aceleraciones en la dirección medio-lateral, más que las aceleraciones en la dirección antero-posterior.

Si bien, la aceleración se ha caracterizado en función del género, aunque ha mostrado resultados diferentes por el instrumental utilizado, o por la distancia e intensidad de nado analizada, el nivel de rendimiento no ha podido ser caracterizado a través de la aceleración. En concreto, Madera (2011) no encontró diferencias entre los diferentes niveles de rendimiento en función del estilo y género en estos parámetros de la aceleración. Sin embargo, las relaciones que estableció entre la velocidad de nado y cada una de estas variables para una muestra conjunta de ambos géneros, mostró valores medios y positivos para cada estilo, siendo el estilo mariposa el que presentó mayores relaciones de la aceleración con la velocidad de nado.

Por el contrario en crol, Company (2014) muestra sólo relaciones positivas y de intensidad media-alta ($r=0,64$), en los nadadores y en la dirección antero-posterior, ya que las nadadoras no mostraron esta relación. En el resto de direcciones (medio-lateral y superior-inferior) la velocidad de nado sólo mostró relaciones de intensidad baja ($r<0,3$) en ambos géneros (Company, 2014). Si se toma en consideración este último estudio, las relaciones positivas obtenidas en crol por Madera (2011) estarían sesgadas al no diferenciar el género de los sujetos.

También Tella et al. (2008) encontraron esta relación entre la velocidad de nado y la producción de aceleración (RMS), durante el nado a estilo crol en 25 metros a velocidad máxima en dos situaciones diferentes, con fatiga ($r=0,75$) o sin fatiga previa ($r=0,68$). También la

RMS caracteriza diferentes intensidades de nado, es decir, a mayor intensidad, mayor producción de aceleración. En el caso de la tesis de Company (2014), tanto nadadores como nadadoras mostraron incrementos de RMS en las tres direcciones a intensidades crecientes (85%, 90% y 95%).

Otro estudio con un acelerómetro (1D) (Holmér, 1979), también informó que los nadadores en crol al aumentar su velocidad, incrementaban sus valores de RMS. Este incremento de RMS con respecto a la intensidad cuando esta se refiere al incremento de la velocidad, también se pone de manifiesto cuando el objetivo es incrementar la intensidad para mantener la velocidad de nado por efecto de la fatiga acumulada (Tella et al., 2007).

Nordsborg et al. (2014) confirman estas relaciones entre el incremento de la velocidad (intensidad), con el incremento de la aceleración durante el nado de crol. En su estudio analizan la aceleración y el gasto de energía (consumo de O_2) a diferentes velocidades de nado. El estudio se realiza con una muestra de 60 nadadores, en un canal de natación en el que se pueden programar diferentes velocidades del agua, donde los nadadores para mantener una posición estable, incrementaban la intensidad del nado. Los nadadores fueron instrumentados con 3 acelerómetros, y mostraron una relaciones positiva entre VO_2 y la RMS de la aceleración en la muñeca ($r = 0,77$) en el tobillo ($r = 0,73$) y en el sacro ($r = 0,46$).

Otra variable estudiada en el análisis de la aceleración ha sido el rango entre los valores máximos y mínimos. Company (2014) encontró que a mayor intensidad mayor rango, y que los nadadores presentan mayores rangos que las nadadoras. Sin embargo, el rango, como los valores máximos y mínimos de la aceleración están asociados a la velocidad de nado (Tella et al., 2008), por lo que estas variables no son complementarias para una mejor caracterización de la aceleración.

Posiblemente, algún tipo de parámetro que permita relativizar los cambios de aceleración con respecto a la aceleración media, pueda caracterizar de manera complementaria la aceleración, si es que la variabilidad a que está sujeta la aceleración es un parámetro que diferencie a los estilos de nado en función del género y del rendimiento,

como puede serlo las variaciones porcentuales de la velocidad intraciclo (Craig et al., 2006). Tella et al. (2008) analizaron el coeficiente de variación de la aceleración en crol, tanto con fatiga como sin fatiga, y este coeficiente con valores próximos al 75% no presentó diferencias significativas.

Asimismo, otros trabajos han mostrado como la aceleración puede caracterizar a los estilos de nado en función de su perfil intraciclo. En este sentido Holmér (1979) y Buchner y Reischle (2003) muestran dos picos de aceleración y una importante fase de deceleración en el estilo braza. En concreto, Buchner y Reischle (2003) identificaron estos picos de aceleración con el movimiento hacia dentro de los miembros superiores y con el movimiento hacia dentro y hacia abajo de los miembros inferiores, así como que la deceleración más importante se produce por el recobro completo de los miembros inferiores. Tourny, Chollet, Micallef, y Macabies (1992) y Craig et al. (2006) observaron que los incrementos principales de la aceleración correspondían a las acciones de miembros inferiores.

En un estudio realizado con triatletas, Tella et al. (2007) evaluaron con un acelerómetro 2D las aceleraciones que producían al nadar, en los cuatro parciales de 25 metros de una prueba de 100 metros crol. Sus resultados ponen de relieve que la aceleración en la dirección medio-lateral es mayor que la que se produce en la dirección antero-posterior. Posiblemente, la acción del rolido es necesaria para que las acciones propulsivas de los miembros superiores e inferiores sean eficaces (Castro, Minghelli, Floss, y Guimaraes, 2003; Liu, Hay, y Andrews, 2010), y pueda provocar las magnitudes de aceleración en la dirección medio-lateral. Esta aceleración les llevo a relacionar las aceleraciones producidas entre la dirección medio-lateral, con la dirección antero-posterior a través del siguiente índice.

$$\text{Índice RMS} = \frac{RMSx}{RMSy} \quad (5)$$

donde RMS es el valor cuadrático medio de la aceleración, RMSx el valor cuadrático medio de la aceleración en la dirección

antero-posterior, y RMSy el valor cuadrático medio de la aceleración en la dirección medio-lateral.

Este índice establece con un ratio, las aceleraciones en la dirección antero-posterior con respecto a las aceleraciones en la dirección medio-lateral, o como citan sus autores (Tella et al., 2007) las fuerzas propulsivas (i.e. las generadas en la dirección antero-posterior que benefician el nado) con las fuerzas resistivas (i.e. las generadas en la dirección medio-lateral que podrían aumentar la resistencia al avance). Sus resultados muestran valores inferiores a 1 en todos los parciales de 25 (entre $0,52\pm 0,10$ y $0,60\pm 0,12$) con un predominio de las aceleraciones en la dirección medio-lateral en este grupo de triatletas. La correlación encontrada entre la velocidad y el Índice de la RMS (InRMS) en los diferentes parciales, muestra que este índice podría indicar la mayor o menor eficiencia durante el nado. Estos autores definen la eficiencia, como la relación entre las aceleraciones en ambas direcciones, es decir, un incremento de las aceleraciones en la dirección antero-posterior y una reducción de las aceleraciones en la dirección medio-lateral, incrementaría su valor y en consecuencia su eficiencia.

También en este trabajo (Tella et al., 2007), observan como la producción de aceleración en ambas direcciones y su frecuencia, se incrementa entre los sucesivos parciales de 25 metros para poder mantener la máxima velocidad de nado en la prueba de 100 metros. Los autores consideran que la dificultad para mantener una posición del cuerpo hidrodinámica con el incremento de la fatiga, podría ser la causa de este incremento. En la Figura 1.11 se puede observar un ejemplo de cómo se modificaban sus espectros frecuenciales en cada parcial de 25 metros, la amplitud de la aceleración (*Power Peak* ó PP) y su frecuencia (*Power Peak Frequency* ó PPF).

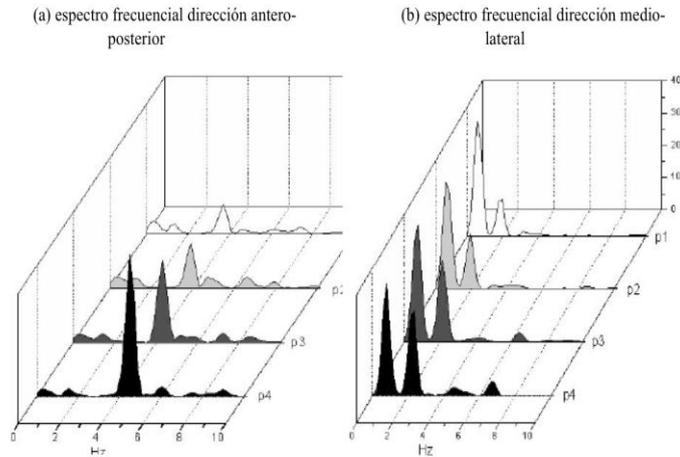


Figura 1.11: Espectros frecuenciales en una prueba de 100m a estilo crol (p1: parcial 25m; p2: parcial 25-50m; p3: parcial 50-75m; p4: parcial 75-100m) en las direcciones antero-posterior y medio-lateral (Tella et al., 2007)

Sobre el estilo mariposa, Mason, Tong, y Richards (1992) analizaron los registros de aceleración con las imágenes subacuáticas obtenidas, y establecieron cinco diferentes fases de aceleración: primer batido, movimiento hacia fuera de los miembros superiores, movimiento hacia dentro de los miembros superiores, segundo batido y movimiento hacia arriba de los miembros superiores de manera concurrente, y una última fase que no corresponde a ningún movimiento concreto de miembros superiores o inferiores. Buchner y Reischle (2003) señalaron sólo 2 picos de aceleración (primer batido y segundo batido de miembros inferiores).

Esta característica de analizar los perfiles de aceleración en función de los perfiles intraciclo, es similar a la que se realiza en función del perfil de la velocidad intraciclo (Barbosa et al., 2013). En este sentido, Holmér (1979) ya destacó la relación concomitante de las fluctuaciones de la velocidad con las fluctuaciones de la aceleración intraciclo (Figura 1.12).

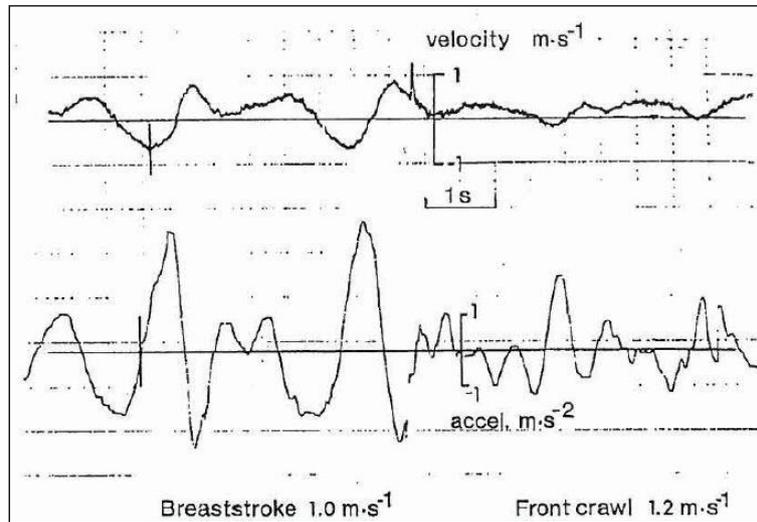


Figura 1.12: Curvas de velocidad (arriba) y aceleración (abajo) de un nadador en braza y crol (Holmér, 1979)

Con respecto al análisis de los perfiles intraciclo, Company (2014) indica que en crol estos perfiles son diferentes entre nadadores, tanto en sus tres direcciones como a diferentes intensidades. Esta variabilidad podría representar la diferente adecuación inter-sujeto de las características técnicas para la gestión del rendimiento, y como indica Company (2014) el análisis cualitativo de la aceleración puede ser una herramienta útil para el análisis de la técnica. Otros autores (James et al., 2011; Le Sage, Bindel, Conway, Justham, et al., 2011), también presentan patrones específicos en crol con sus valores máximos y mínimos en cada dirección de nado. Una característica de todos estos perfiles es que las mayores fluctuaciones se producen en la dirección medio-lateral, posiblemente debidas a las acciones de rolido del cuerpo. En concreto, Company (2014) encontró rangos de aproximadamente $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ en la dirección medio-lateral, con respecto a rangos de aproximadamente $7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en las otras direcciones.

También Slawson et al. (2008) mostraron diferentes perfiles en cada dirección para cada estilo al registrar la aceleración (3D), en una prueba de 200 metros estilos con dos nadadores de diferente nivel (nacional e internacional). Estos autores señalan que el estudio de la aceleración puede mostrar diferencias individuales y entre estilos (magnitud y

Introducción

desviación estándar de la aceleración). Confirmando el interés del estudio de los perfiles de aceleración para identificar diferentes estilos, incluso diferentes maneras de gestionar las aceleraciones en función de las características técnicas y de rendimiento de los nadadores (Figuras 1.13 y 1.14).

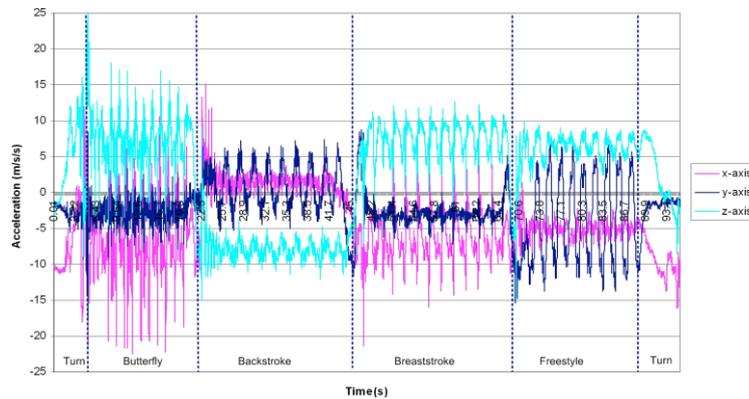


Figura 1.13: Representación gráfica de la aceleración 3D en los cuatro estilos de nado (Slawson et al., 2008)

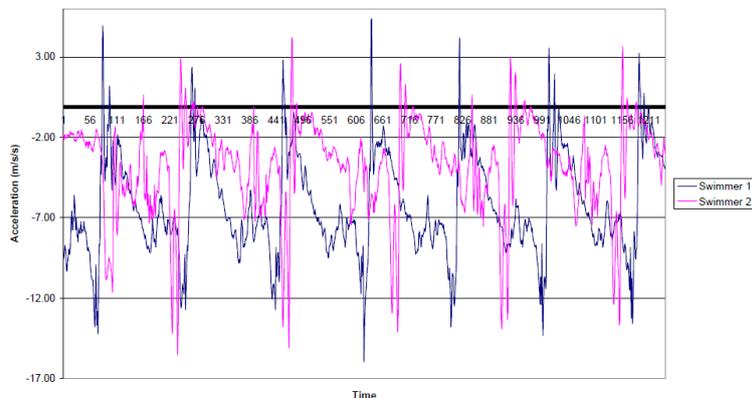


Figura 1.14: Gráfica que representa la aceleración intraciclo en el estilo braza de dos nadadores diferentes (Slawson et al., 2008)

1.3.2.2. La aceleración en el dominio frecuencial

Como ya se ha citado anteriormente, el estudio de la aceleración en el dominio frecuencial pone de relieve la frecuencia a la que se producen las aceleraciones en el tiempo. Pero además permite cuantificar la magnitud de diferentes concentraciones o picos de aceleración en un

rango de frecuencia similar (*Power Peak Frequency* o PPF), o del conjunto del espectro frecuencial (*Spectral Area* ó SA). Holmér (1979) fue pionero en analizar la aceleración que se produce durante el nado a través de un proceso matemático basado en la *Fast Fourier Transform* (FFT).

El análisis visual de un gráfico de aceleración, es decir de su perfil, permite el recuento de picos y la caracterización de diversas acciones durante el nado (Maglischo, 1993). Sin embargo, las señales de aceleración en natación analizadas a través de una *Fast Fourier Transform* (FFT), permite obtener una serie de parámetros que escapan a la percepción visual del investigador (Tella et al., 2008).

En su trabajo, Holmér (1979) analiza la incidencia del aumento de la velocidad en el espectro de la aceleración. Así, señala que el incremento en la velocidad del nadador, produce un desplazamiento del pico principal de la aceleración (Figura 1.15) hacia la derecha, es decir, hacia mayores frecuencias, así como un incremento en la magnitud de los picos o del total del espectro frecuencial (SA). También interpreta los picos de aceleración frecuencial, manifestando que el principal pico (PP), estaría asociado a las aceleraciones derivadas de las acciones de los miembros superiores en el nado crol, y que el segundo pico de menor magnitud y a una frecuencia superior, sería el resultado de las acciones de los miembros inferiores.

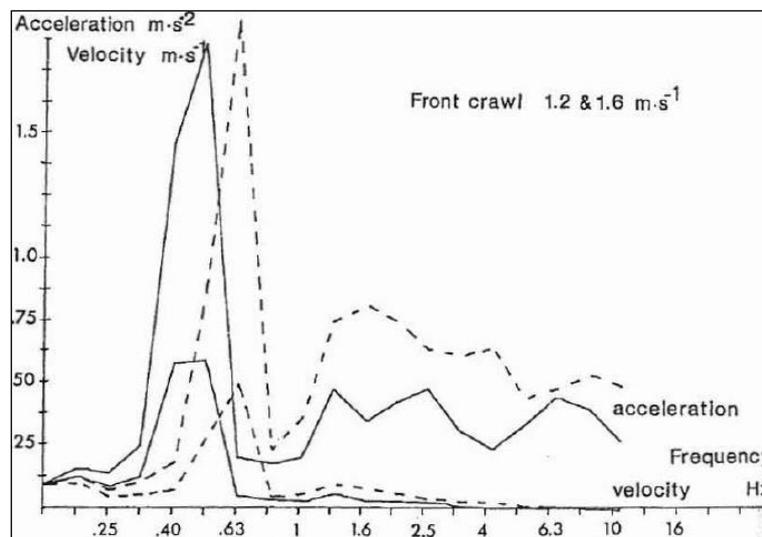


Figura 1.15: Espectro frecuencial de la aceleración y la velocidad de un nadador durante el nado de crol (Holmér, 1979)

Otros autores han asociado el tipo de espectro a una mayor o menor concentración de las aceleraciones, que pondría de manifiesto la mayor eficiencia propulsiva si el espectro sólo estaba representado por un pico de potencia (*Power Peak* o PP). Así Tella et al. (2008) caracterizaron 3 tipos de espectro para una muestra de nadadores de crol (Figura 1.16), (i) un tipo de espectro en el que destaca sólo un PP, (ii) otro con un segundo pico asociado al PP, (iii) un tercer tipo de espectro que presenta una mayor entropía o desorden con más de dos picos de potencia. Según los autores, el espectro de un solo pico de potencia (PP), estaría poniendo de relieve la capacidad para que los principales osciladores durante el nado (miembros superiores e inferiores), actuaran a la misma frecuencia y mostrando una mayor coherencia.

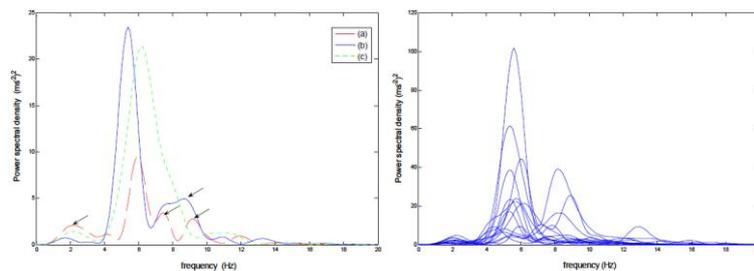


Figura 1.16: Diferentes espectros de frecuencia en el estilo crol. En la gráfica de la izquierda se observan los tres tipos de espectros propuestos por los autores. El espectro a presenta diferentes picos, el espectro b presenta dos diferentes picos de potencia, y el espectro c presenta un espectro de un solo pico de potencia. En la gráfica de la derecha se observa una representación de todos los espectros frecuenciales analizados en su estudio (Tella et al., 2008)

Además, estos autores relacionan la frecuencia asociada al principal pico de potencia (PPF), con la frecuencia a la que se repiten las principales aceleraciones durante un ciclo de nado. Así, en este estudio (Tella et al., 2008) establecieron que los nadadores realizaban aproximadamente seis aceleraciones importantes por ciclo de nado, coincidiendo con los perfiles de aceleración analizados por Counsilman y Wasilak (1982).

Sin embargo, tanto el trabajo de Holmér (1979), como el de Tella et al. (2008), presentan limitaciones para interpretar la importancia de las acciones de los miembros superiores y de los inferiores como principales causantes de los picos observados en un espectro frecuencial. En ambos trabajos se analiza la aceleración que se produce en el cuerpo con un sensor en la zona próxima al sacro (acelerómetro 1D o velocímetro), y no se puede deducir con exactitud la contribución de cada uno de ellos en la aceleración total.

Con la misma metodología y con las mismas limitaciones, Madera (2011) analiza los espectros frecuenciales de la aceleración en los cuatro estilos de nado. En ese estudio, se proponen dos tipos de espectro para cada estilo. En concreto, el autor agrupa los espectros frecuenciales en función de (i) contener un solo pico principal de potencia (PP) o (ii) contener más de un pico de potencia, con la intención de diferenciar aquellos espectros que visualmente presentaban una menor variación o mayor coherencia (Tella et al., 2008).

Esta distribución se analizó (Madera, 2011) por estilo, género y nivel de rendimiento, poniendo de manifiesto que ambos tipos de espectro son comunes a cada condición. En concreto, mostró que el 41,2% en mariposa, el 37,3% en espalda, el 39,2% en braza y el 43,1% en crol, presentan espectros de un solo pico de potencia (PP).

Introducción

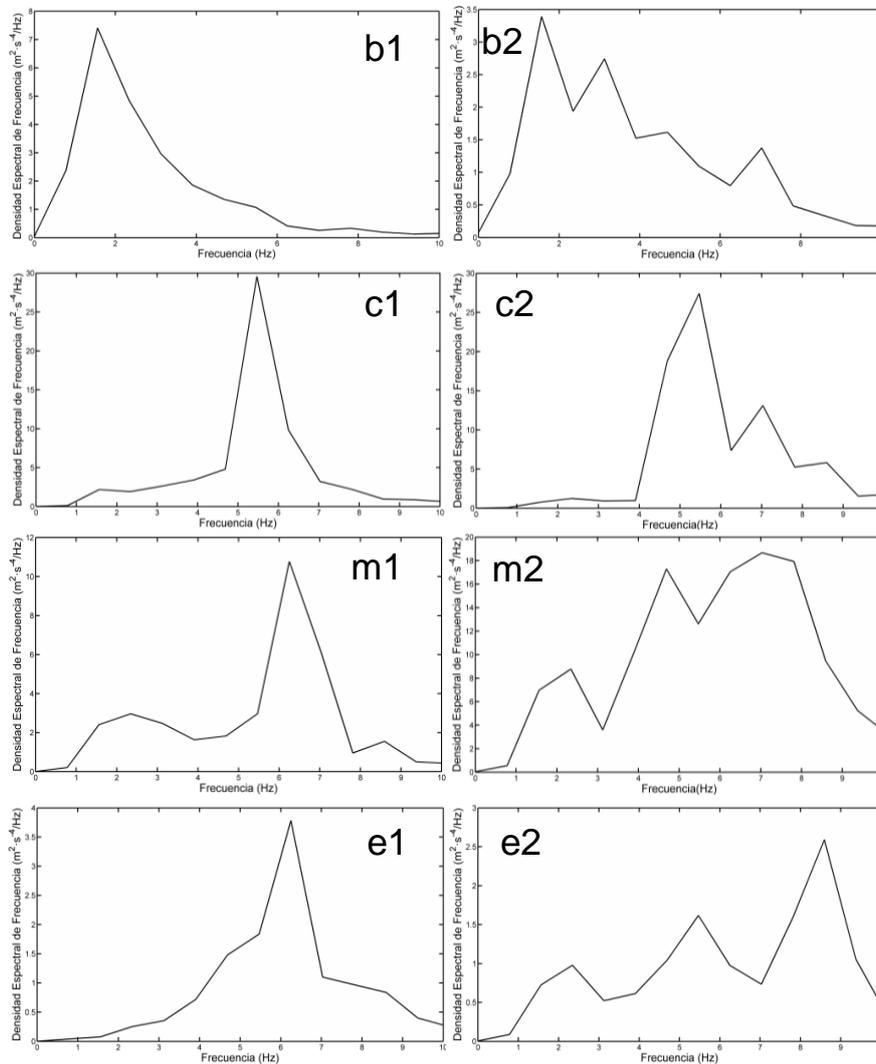


Figura 1.17: Tipos de espectro frecuencial propuestos por Madera para cada estilo de nado. El espectro de tipo I representa a los que tienen un solo pico de potencia, y los espectros de tipo II representan a aquellos con dos o más picos de potencia. b: braza, c: crol; m: mariposa; e: espalda, 1: nadador ejemplo 1; 2: nadador ejemplo 2 (Madera, 2011)

Otra forma de analizar la frecuencia de las aceleraciones es la que propone Company (2014). A diferencia del análisis del espectro frecuencial, propone un polígono de las frecuencias resultantes (Figura 1.18). En concreto, este polígono de frecuencias representa los rangos de aceleración que se repiten con mayor frecuencia. Este tipo de

representación frecuencial no muestra diferencias entre intensidades progresivas de nado en crol, presentando una limitación para caracterizar diferentes intensidades de nado.

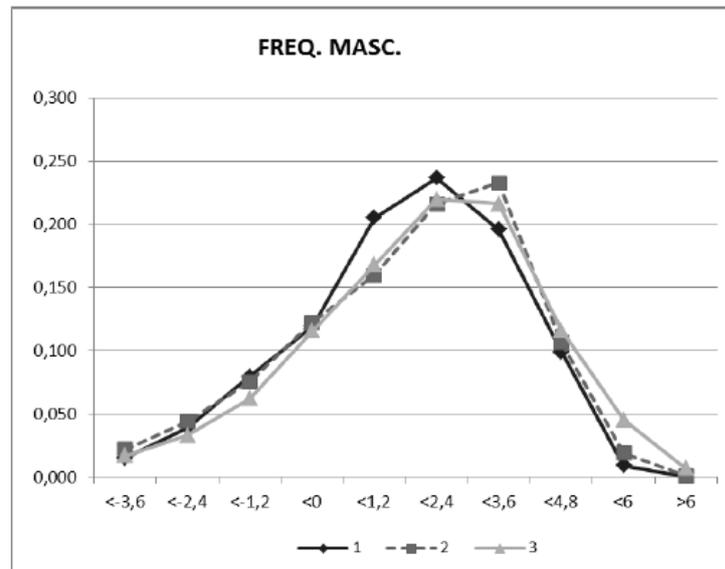


Figura 1.18: Polígonos de frecuencia de la aceleración en crol a diferentes intensidades de nado. Intensidad 1= 85% de la velocidad máxima en 1500m; Intensidad 2= 90% de la velocidad máxima en 1500m; Intensidad 3= 95% de la velocidad máxima en 1500m (Company, 2014)

Con respecto a las magnitudes que representan estos espectros frecuenciales (PP, PPF y SA), Madera (2011) las calcula para cada uno de los estilos de nado, género y nivel de rendimiento. Así, estas magnitudes pueden caracterizar a los diferentes estilos de nado de manera general (Tabla 1.14). Los estilos que mayor pico de potencia (PP) presentan son los estilos crol y mariposa, mientras que los estilos braza y espalda registran un menor valor. En cuanto a la frecuencia del pico de potencia (PPF), el estilo espalda presenta el mayor valor, mientras que la braza registra las menores frecuencias. El estilo crol y el estilo mariposa presentan valores de PPF similares. Por último, el área espectral (SA) que mayor magnitud presenta, se da en los estilos de mariposa y crol, seguidos de la braza, quedando el estilo espalda como el que menor espectro frecuencial registra.

Tabla 1.14: Caracterización frecuencial 1D de los estilos de nado (adaptado de Madera, 2011)

N=51	Estilo				Comparación Bonferroni					
	M	E	B	C	M-E	M-B	M-C	E-B	E-C	B-C
PP (m ² .s ⁻⁴)	14,14	5,64	8,24	17,81	***	**	NS	NS	***	**
PPF (Hz)	5,55	6,59	2,63	5,68	**	***	NS	***	**	***
SA (m ² .s ⁻⁴)	70,54	21,10	39,94	51,13	***	***	NS	**	***	NS

N: número de sujetos; *PP*: power peak; *PPF*: power peak frequency; *SA*: spectral area; *M*: mariposa; *E*: espalda; *B*: braza; *C*: crol; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$; NS: diferencias no significativas

Esta capacidad para caracterizar a los diferentes estilos de nado en función de sus magnitudes frecuenciales, se reduce cuando queremos caracterizar los estilos de nado en función del género, y es nula para caracterizar en función del género y del nivel de rendimiento. Así, sólo el estilo mariposa presenta valores superiores del género masculino con respecto al femenino en todas las variables frecuenciales (PP; PPF, SA). El área espectral (SA) permite caracterizar a los estilos crol y espalda con valores superiores para el género masculino, mientras que estas variables no diferencian al género en el estilo braza. Si bien, estas variables no muestran capacidad caracterizadora del rendimiento, algunos trabajos han analizado la relación de estos parámetros con la velocidad de nado, mostrando algún tipo de relación que conviene destacar. Como se ha descrito anteriormente, Holmér (1979) observó incrementos de estas variables con respecto a la velocidad de nado.

En otro estudio, Tella et al. (2008) analizaron esta relación con la velocidad de nado con una muestra de sujetos en situación de nado sin fatiga y de nado con fatiga, en esfuerzos máximos de 25 metros. Si bien, las relaciones en la situación de nado sin fatiga sólo fue estadísticamente significativa para la variable SA ($r=0,53$), cuando se analizó esta relación en situación de fatiga, estas variables frecuenciales incrementaron su intensidad así como su nivel de significación estadística. En este segundo supuesto, la relación de SA con la velocidad pasó a $r=0,75$ ($p < 0,01$), la relación de PP pasó de $r=0,45$ ($p > 0,05$) a $r=0,65$ ($p < 0,01$), y la relación de PPF pasó de $r=0,24$ ($p > 0,05$) a $r=0,41$ ($p > 0,05$).

Madera (2011) analizó las relaciones para cada uno de los estilos en 25 metros a velocidad máxima, si bien la muestra estaba conformada por nadadores de ambos géneros. El estilo que mayores valores obtuvo en la relación de PP con la velocidad, fue alta para el estilo mariposa ($r=0,67$; $p<0,01$), y para el estilo braza ($r=0,56$; $p<0,01$), de intensidad media para el estilo crol ($r=0,32$; $p<0,05$) y para el estilo espalda ($r=0,29$; $p<0,05$). Sin embargo, la variable PPF sólo mostró una relación de intensidad media ($r=0,33$; $p<0,05$) para el estilo mariposa. La variable SA de la misma manera que PPF mostró relaciones de diferente intensidad en cada uno de los estilos. Tanto el estilo mariposa ($r=0,71$; $p<0,01$), como el estilo braza ($r=0,52$; $p<0,01$) mostraron una intensidad alta con la velocidad de nado, mientras que el estilo crol ($r=0,44$; $p<0,01$) y el estilo espalda ($r=0,41$; $p<0,01$) mostraron relaciones de intensidad media.

1.4. Epílogo sobre la aceleración

La aceleración que se produce durante el nado es el resultado de las diferentes interacciones que se producen entre los movimientos del nadador o nadadora en su desplazamiento en el agua (Ungerechts, 1988; Vilas-Boas, 1997). Para su análisis, se han utilizado tres tipos de metodología que presentan diferentes sensores de medición (fotogrametría, velocimetría y acelerometría). Cada una de ellas muestra una serie de ventajas y limitaciones (Cuesta-Vargas et al., 2010; Madera, 2011; Seifert et al., 2014). En general, las diferentes metodologías y/o sensores han analizado la aceleración en 1D o en 3D y sus resultados no son comparables por su diferente capacidad de discriminación (Company, 2014; Madera, 2011).

Los acelerómetros registran frecuencias de adquisición suficientes para identificar o cuantificar las principales acciones propulsivas de un ciclo de nado (Siirtola et al., 2011). La aceleración ha sido analizada como resultante de las diferentes acciones que se realizan durante el nado (i.e. sacro) (Tella et al., 2008) o para caracterizar los cambios de posición de determinados puntos antropométricos (i.e. mano/muñeca, pierna/tobillo) (Ichikawa et al., 1999).

Los acelerómetros, además de analizar la aceleración durante una distancia de nado con acciones de tipo cíclico (i.e. ciclos de nado) (Le

Sage et al., 2011) o acíclico (i.e. sálidas y virajes) (Stamm et al., 2013), permiten que se pueda identificar o analizar parámetros cinemáticos, como el número de piscinas realizadas, las frecuencias de movimientos, sus velocidades medias asociadas a cada fase, longitudes de ciclo, índices de coordinación, etc.

Recientes líneas de investigación tienen como objeto de estudio (i) cuantificar la velocidad de nado intraciclo a través de la aceleración (Dadashi et al., 2012), para ello se realizan complejos algoritmos matemáticos que relacionan la aceleración y su posición cartesiana con respecto a la dirección de nado, siendo cada vez más precisos y (ii) relacionar la aceleración con el gasto de energía durante el nado (Nordsborg et al., 2014).

La aceleración como resultante de las diferentes acciones que se realizan durante el nado ha sido analizada en el dominio temporal y frecuencial (Holmér, 1979). En el dominio temporal se han identificado perfiles de aceleración tanto 1D como en 3D asociados a cada estilo de nado y a sus movimientos propulsivos. Pero no se ha caracterizado su valor eficaz (RMS) como sus valores máximos y mínimos en 3D. También, la relación entre las aceleraciones en diferentes direcciones, podría determinar una mayor o menor eficiencia propulsiva, tomando como referencia las aceleraciones que se produzcan en la dirección antero-posterior (Tella et al., 2007). Así mismo, se ha relacionado la velocidad de nado con los parámetros temporales de la aceleración 1D en todos los estilos, y sólo con los parámetros temporales de la aceleración 3D en el estilo crol (Company, 2014; Madera, 2011).

En el dominio frecuencial se han identificado e interpretado diferentes espectros frecuenciales 1D asociados a cada estilo de nado. Así mismo, se han cuantificado algunos parámetros asociados a estos espectros frecuenciales (PP, PPF y SA) con el objetivo de describir a diferentes muestras de nadadores/as, diferentes intensidades, así como su relación con la velocidad de nado (Company, 2014; Madera, 2011).

Sin embargo, todavía son escasos los análisis de la aceleración 3D en el dominio temporal y frecuencial en todos los estilos de nado, teniendo un gran potencial, ya que algunos parámetros asociados a estos

análisis presentan capacidad para caracterizar los estilos de nado y su relación con el rendimiento.

OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

En la línea de estudio relacionada con la caracterización de los estilos de nado, son escasos los trabajos que hayan analizado la aceleración en 3D.

Una vez revisada la bibliografía existente sobre la aceleración como resultante de las diferentes acciones propulsivas, en esta tesis se plantean los siguiente objetivos generales:

- Caracterizar la aceleración en el dominio temporal en los cuatro estilos de nado.
- Caracterizar la aceleración en el dominio frecuencial en los cuatro estilos de nado.

Dichos objetivos generales se concretan en los siguientes objetivos específicos:

- i. Caracterizar la aceleración temporal y frecuencial 3D, en función del estilo y género.
- ii. Caracterizar la aceleración temporal y frecuencial 3D, en función de las diferentes direcciones del acelerómetro.
- iii. Conocer la relación de la velocidad de nado con los parámetros temporales y frecuenciales de la aceleración.
- iv. Discriminar las variables temporales o frecuenciales de la aceleración que predicen la velocidad de nado.
- v. Analizar los perfiles de los espectros frecuenciales en cada uno de los estilos de nado.

METODOLOGÍA

3. METODOLOGÍA

3.1. Diseño

Este capítulo enumera el material utilizado para la medición de las diferentes variables, así como el instrumental técnico y la metodología seguida para la realización del estudio.

Los procedimientos metodológicos se escogieron en función de la definición de los objetivos seleccionados en la presente tesis. Así, se estableció analizar el comportamiento frecuencial y temporal de la aceleración durante el nado a velocidad máxima en los cuatro estilos de competición en natación, bajo parámetros cinemáticos. Para ello se contó con nadadoras y nadadores de clubes de natación de la Comunidad Valenciana, que realizaron un ensayo para cada uno de los cuatro estilos de natación mencionados.

El proceso se llevó a cabo obteniendo los cambios de aceleración en las tres direcciones con un acelerómetro tri-axial, así como la velocidad de nado del nadador con la filmación, en un test máximo de 25 metros en cada uno de los estilos. Dicho diseño responde a un protocolo descriptivo-relacional, con el fin de cuantificar numéricamente las siguientes variables dependientes:

- La Frecuencia de Ciclo (FC; número de ciclos por minuto), la Velocidad de nado (V; velocidad media de nado cuantificada en metros por segundo, medidos en los diez metros centrales), y la Longitud de Ciclo (LC; metros por ciclo de nado), como variables cíclicas del nado.
- La *Root Mean Square* (RMS; valor cuadrático medio de la aceleración), el Mínimo (MIN, mínimo valor de la aceleración) y el Máximo (MAX; máximo valor de la aceleración), y el Índice de la RMS (InRMS). Este índice se obtiene del cociente entre las direcciones antero-posterior (Z) y superior-inferior (X) para los estilos mariposa y braza; o del cociente entre las direcciones antero-posterior (Z) y medio-lateral (Y) para los estilos espalda y crol. Todas estas

variables son calculadas en las tres direcciones como variables temporales de la aceleración.

- El *Power Peak* (PP; pico de potencia, que indica el valor más alto del espectro de potencia), el *Power Peak Frequency* (PPF; frecuencia del pico de potencia asociada al PP), y la potencia total contenida en *Spectral Area* (SA; valor que refleja la potencia total del espectro), en las tres direcciones como variables frecuenciales de la aceleración.

Las variables independientes que se han identificado son el estilo de nado (mariposa, espalda, braza y crol), y el género de los sujetos (femenino, masculino).

3.2. Sujetos

La muestra ha sido seleccionada con el objetivo de valorar una muestra importante de señales (participantes), siguiendo la línea de trabajo de futuras investigaciones que marcó Tella et al. (2008), que aconsejan en su discusión un número amplio de sujetos en estudios que analicen frecuentemente la aceleración.

Los criterios de inclusión fueron (i) ser testados en los cuatro estilos de nado y (ii) haber entrenado regularmente, al menos, durante cuatro años.

Inicialmente se disponía de una muestra de 88 sujetos, de los que se acabaron seleccionando 75 nadadoras y nadadores (criterio de inclusión i), de tres clubs de natación (uno de Valencia y dos de Castellón) que participaron de manera voluntaria en el estudio, realizando cada sujeto los cuatro ensayos, que consistía en nadar 25 metros de cada estilo de natación de competición (mariposa, espalda, braza y crol) a velocidad máxima.

La Tabla 3.1 muestra las características de la muestra (número de sujetos de cada género, edad, talla, peso y años de entrenamiento).

Tabla 3.1: Características de la muestra

Género	N	Edad (años)	Talla (cm)	Peso (kg)	Años Entrenamiento
Femenino	36	15,67±2,65	163,31±9,18	53,28±10,40	7,31±2,30
Masculino	39	17,21±3,84	171,62±10,16	64,62±11,66	7,69±3,08
Ambos	75	16,47±3,40	167,63±10,51	59,17±12,39	7,51±2,72

N: número de sujetos; cm: centímetros; kg: kilogramos

3.3. Instrumental empleado

La realización de los ensayos se llevó a cabo en instalaciones homologadas para la competición. Todas estas instalaciones tenían una longitud de 25 metros, con una profundidad mínima de metro y medio, y al menos 6 calles de anchura. A continuación se describen las características del aparataje empleado para las mediciones, tanto para la descripción de las características antropométricas individuales, como de las variables dependientes.

3.3.1. Instrumentos para obtener los datos antropométricos

Para la obtención de datos de carácter antropométrico, se hicieron las mediciones de talla y peso. Para ello se utilizó el modelo 713 de la marca SECA[®], capaz de medir ambas variables, el peso con una precisión de 200 gramos y la talla con una precisión de un milímetro.

3.3.2. Instrumentos para registrar la aceleración

Para la grabación de la señal (registro) de la aceleración se utilizó el acondicionador de señales MEGA[®] 6000 (MegaElectronics[®] Ltd, Kuopio, Finlandia), provisto de una tarjeta de memoria, y conectado a un acelerómetro tri-axial ($\pm 10g$) de la marca MEGA[®] (31x18x45 milímetros, 45g) con una frecuencia de registro de 1000Hz.

Para su conexión, el acondicionador de señales dispone de cuatro conexiones y cada una con dos posibilidades de registro llamadas vías (8 posibles vías de almacenaje de registros), aunque en el presente estudio sólo se han utilizado tres vías. Las cuales corresponden a la primera conexión, utilizando sus vías 1 y 2 para extraer los datos de las direcciones superior-inferior (X) y medio-lateral (Y) respectivamente,

Metodología

mientras que en la segunda conexión, sólo se ha utilizado una vía (vía 3) para la dirección antero-posterior (Z). El acelerómetro se sujetó a este acondicionador de señales a través de una cinta adhesiva.

Así mismo, fue necesario realizar la calibración del acelerómetro, siguiendo diferentes pasos y con la ayuda del vídeo ilustrativo facilitado por la empresa constructora del mismo, mediante el programa informático “Megawin[®] (Mega Electronics Ltd, Kuopio, Finland). La operación consistía en seleccionar los valores máximos y mínimos para las diferentes posiciones del acelerómetro según la dirección elegida. Para la dirección superior-inferior (X) calibrar el acelerómetro en sus dos posiciones horizontales, para la dirección medio-lateral (Y) calibrar el acelerómetro en sus dos posiciones laterales, y para la dirección antero-posterior (Z) calibrar el acelerómetro en sus dos posiciones verticales, y así tener configurado correctamente dicho aparato.

Todo el equipo se introdujo en una bolsa estanca (250x135x265 milímetros) de la marca Aquapac[®], con el objetivo de proteger el aparataje mencionado anteriormente en su introducción al medio acuático, y para asegurar la sujeción de este compacto *pack* al nadador, se ha utilizado una faja elástica. La faja es de un material flexible y adaptable a los sujetos, a la cual se le ha adaptado un bolsillo elástico donde se alojaría la bolsa estanca. De esta manera, la faja estaba sujeta a la cintura del nadador, y el acelerómetro quedó fijado entre la primera y la tercera vértebra lumbar con el fin de registrar las aceleraciones en las tres direcciones citadas (ejes X, Y, Z) en cada uno de los ensayos (Figura 3.1).

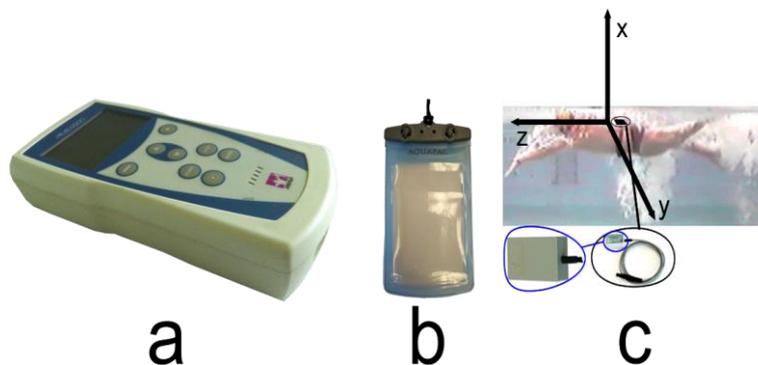


Figura 3.1: Instrumental y su colocación para el registro de los datos. (a) ME6000 (b) bolsa aquapac (c) acelerómetro 3D y coordenadas de registro

3.3.3. Instrumentos para registrar la velocidad y la frecuencia de ciclo

Para registrar la velocidad de nado y la frecuencia de ciclo se utilizó una cámara de vídeo Sony® TRV 33 (30Hz), que registró de los quince a los veinte metros de nado en cada uno de los ensayos (Figura 3.2). Estas imágenes fueron utilizadas para calcular la velocidad de nado (m/s) y la frecuencia de ciclo (c/min). La cámara se fijó a través de un trípode.

El registro visual permite un análisis detallado del ejercicio realizado capturando la imagen del nado de los diferentes estilos. El objetivo final es trabajar las imágenes por fotogramas (30 por segundo), visualizando en el que se comienza el ciclo, para determinar el tiempo en dos ciclos.

Para señalar la distancia de cinco metros necesaria para el cálculo de la velocidad de nado, se utilizó una cinta métrica marca SECA®, así como cuatro cinturones de flotación que fueron ajustados a cada una de las corcheras, para delimitar dicha distancia.

3.4. Procedimiento

Todos los protocolos, fechas y ensayos enunciados en el presente apartado de Metodología se ha realizado bajo el consentimiento informado de los sujetos (Anexo 2). Todos los procedimientos descritos en esta sección cumplen con los requisitos enumerados en la declaración del Helsinki 1975 y su modificación en 2008.

Se utilizaron un total de diez sesiones para realizar todos los registros necesarios tanto antropométricos, como cinemáticos. En cada una de las diferentes sesiones se registraron aproximadamente ocho sujetos, delimitándose previamente el espacio, y preparando el material necesario para llevarse a cabo los registros.

El día de la sesión de medición, los sujetos fueron citados en la piscina correspondiente, donde se realizó la siguiente secuencia: (i) recogida de datos básicos y antropometría, (ii) calentamiento estándar, (iii) colocación del instrumental, (iv) medición de los parámetros cíclicos de nado, temporales y frecuenciales de la aceleración durante el nado en los distintos estilos.

3.4.1. Recogida de datos básicos y antropometría

En cada sesión, y antes del calentamiento se registraron en una planilla los datos de género, edad, talla, peso y años de entrenamiento.

3.4.2. Protocolo de calentamiento

Todos los sujetos realizaron un calentamiento, dejando un intervalo mínimo de 15 minutos antes de la realización de su primer registro de nado. El calentamiento tuvo tres partes: una primera parte de una duración aproximada de 15 minutos, en la que el sujeto nadaba de forma libre y variada a una intensidad moderada de 3 puntos en la escala adaptada de Borg (Borg, Hassmén, y Lagerström, 1987), la segunda parte de una duración aproximada de 8 minutos combinando ejercicios de técnica a intensidad moderada y nado completo a intensidad submáxima, de 7 puntos en la escala adaptada de Borg sobre los cuatro estilos, y la última parte de una duración aproximada de 7 minutos realizando cambios de ritmo a intensidad moderada y máxima, entre 7 y 10 puntos en la escala adaptada de Borg realizando repeticiones de los cuatro estilos.

3.4.3. Protocolo de colocación del instrumental

En cada una de las sesiones se llevó a cabo el montaje de los aparatos mencionados en el subapartado 3.3.

De manera concreta, la cámara de vídeo se situó a un metro de altura con respecto a la superficie del agua, y a diez metros de distancia con respecto a la línea de nado de los sujetos, de manera que su campo de filmación registrara la distancia entre los quince y los veinte metros de nado (Figura 3.2).

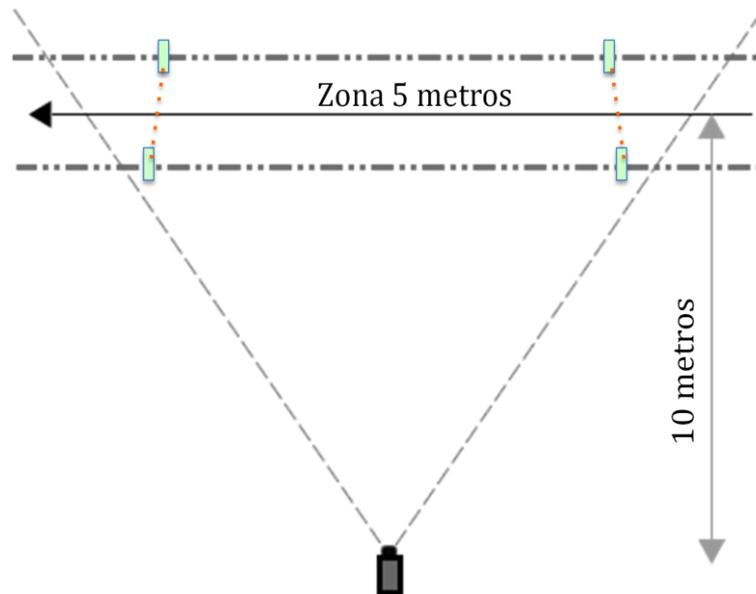


Figura 3.2: Esquema de colocación de la cámara con respecto al nadador

Para señalar estas distancias se señalaron en cada una de las corcheras, con los cinturones de flotación, las distancias de quince y veinte metros.

Posteriormente, se preparó el sistema de registro de la aceleración. Para ello se conectó y fijó el acelerómetro al acondicionador de señales, ambos se introdujeron en la bolsa estanca. Una vez protegidos se colocó en el bolsillo de la faja, para ser utilizada en cada uno de los registros.

3.4.4. Medición de los parámetros cíclicos de nado, y de la aceleración

Los sujetos fueron agrupados de cuatro en cuatro, para realizar las mediciones. Cada sujeto realizó 25 metros de cada uno de los estilos a máxima velocidad saliendo desde al agua, para evitar la inercia del salto en la salida. Además, se les instruyó para que después del impulso en la pared, no realizarán acciones propulsivas subacuáticas previas a las acciones cíclicas de nado.

La secuencia de nado en cada grupo se estableció con el siguiente orden, primero se nadó el estilo mariposa, segundo el estilo espalda,

tercero el estilo braza y por último el estilo crol, atendiendo al orden de los estilos en las pruebas de estilos individual.

Esta secuencia permitió que los nadadores tuviesen un descanso aproximado de unos 15 minutos, suficiente para una completa recuperación en esfuerzos no superiores a 20 segundos (Bompa y Jones, 1983). En crol y en mariposa, se les indicó que no debían respirar durante al menos los primeros 20 metros, para evitar el efecto del movimiento de la cabeza y de su correspondiente aumento del rolido durante el nado (Pedersen y Kjendlie, 2006; Vezos et al., 2007).

3.5. Análisis de datos

Los datos analizados quedan englobados en dos subapartados, siendo el análisis de las variables cíclicas de nado y en segundo término las variables de la aceleración.

3.5.1. Análisis de las variables cíclicas de nado

Las filmaciones realizadas con la cámara de vídeo en cintas micro fueron transferidas a formato digital en formato MP4, con el objetivo de obtener los datos temporales necesarios para el cálculo de la velocidad y de la frecuencia de ciclo. Para ello, se calculó respectivamente (i) el número de fotogramas entre las señales de 15 a 20 metros desde que la cabeza del nadador pasara por la línea de 15 metros hasta que la cabeza del nadador pasaba por la línea de 20 metros y (ii) el número de fotogramas de dos ciclos completos tomando como referencia el espacio delimitado entre 15 y 20 metros. Se puede considerar un ciclo de nado cuando una extremidad (superior o inferior, en función del estilo y del plano observado) realiza el recorrido completo de forma simultánea o alternada (Morales, 2006). Para determinar el momento de inicio y final de los dos ciclos completos sobre las imágenes registradas (de 15 a 20 metros) en cada uno de los estilos se tomaron las siguientes referencias:

- En el estilo mariposa, la entrada de las manos en el agua (Sanders, Cappaert, y Devlin, 1995).
- En el estilo espalda, la entrada de la mano al final del recobro de miembros superiores (Deleaval, 1990; Mason y Cossor, 2000).

- En el estilo braza, el punto más alto de la cabeza durante el recobro. Según Deleaval (1990), en función del campo de visión se debe escoger la referencia más adecuada. En el caso de filmación aérea, el punto más alto de la cabeza fuera del agua para poder realizar la respiración es una referencia clara, para establecer el comienzo y final de un ciclo (Mercadé, Arellano, y Soto, 2002).
- En el estilo crol, la entrada de la mano en el agua al final del recobro de miembros superiores (Mason y Cossor, 2000).

Una vez obtenidos el número de fotogramas, se calculó el tiempo correspondiente a la distancia entre 10 y 20 metros y el tiempo invertido durante 2 ciclos de nado completos en ese mismo segmento. Para ello se aplicaron las siguientes fórmulas:

$$T_{5m} = n^{\circ} \text{ de fotogramas} \cdot 0,033$$

$$T_{2ciclos} = n^{\circ} \text{ de fotogramas} \cdot 0,033$$

siendo 0,03 s la precisión del registro realizado a través de la filmación (30 Hz).

Una vez obtenidos los tiempos se aplicaron las siguientes fórmulas para el cálculo de la velocidad y para el cálculo de la frecuencia de ciclo en ciclos minuto (c/min):

$$V_5 = \frac{5}{\text{tiempo en } 5m}$$

$$FC = \frac{n^{\circ} \text{ de ciclos}}{\text{tiempo del } n^{\circ} \text{ de ciclos}} \cdot 60$$

A través de estos parámetros se calculó también la longitud de ciclo a través de la siguiente fórmula:

$$LC(m) = \frac{V_5}{FC}$$

3.5.2. Análisis de las variables de la aceleración

Para el análisis de la aceleración se siguió el siguiente procedimiento: (i) selección de la zona de interés y (ii) tratamiento de datos.

3.5.2.1. Selección de la zona de interés

De los datos obtenidos en los 25 metros de nado en cada estilo, se ha seleccionado una parte de la señal. En concreto, se han seleccionado los datos correspondientes a los seis segundos posteriores al segundo ciclo completo de la fase de nado, con el objetivo de reducir el efecto del impulso inicial de la pared (fase acíclica), así como de los últimos ciclos de nado en cada prueba. El inicio del tercer ciclo en la fase de nado se ha podido seleccionar en base a los valores máximos, registrados en la dirección antero-posterior para el estilo mariposa y braza, y en la dirección medio-lateral para el estilo espalda y crol (Figura 3.3).

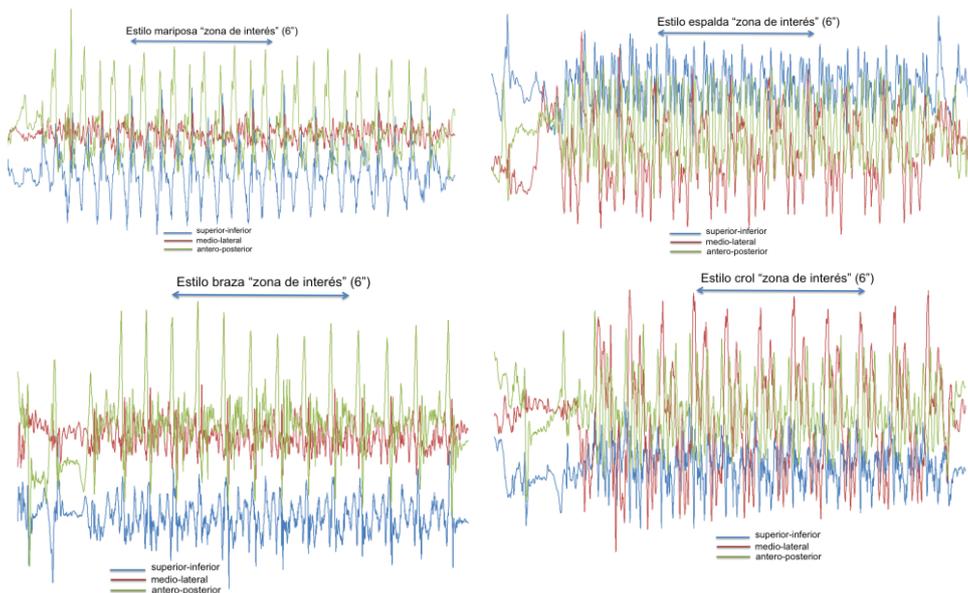


Figura 3.3: Zona de interés (6 segundos) seleccionada para el análisis de la aceleración

3.5.2.2. Tratamiento de datos

Los datos seleccionados de la aceleración fueron analizados mediante una función específica (Anexo 3), programada en Matlab[®] 7.1 (Mathworks Inc., Natick, EE.UU.). Así, las señales se filtraron para mantener sólo aquellas frecuencias de interés para el estudio. Por lo tanto, sólo las aceleraciones que se produjeron en las frecuencias de 20 Hz o menos fueron analizadas, teniendo en cuenta que tanto las aceleraciones

cíclicas relevantes (Holmér, 1979) como las acíclicas (Tella et al, 2008) durante el nado no se producen a frecuencias superiores a 20Hz. Para ello se utilizó un filtro digital Butterworth de cuarto orden pasabanda de 0-20Hz. A continuación, se analizó la señal en el dominio temporal y frecuencial.

La amplitud del espectro se analizó con el método periodograma (Pollock, 1999), que muestra las frecuencias ocultas de una señal. Este proceso se realizó utilizando la función SPECTRUM Matlab[®] y promedió con el método de Welch, utilizando una ventana de Hamming con una amplitud de 256 puntos.

En el dominio temporal se obtuvo el valor cuadrático medio (RMS), el valor máximo y el valor mínimo de la aceleración. Posteriormente se calculó el InRMS para relacionar las amplitudes de las aceleraciones en las direcciones más relevantes en cada uno de los estilos. Así, en los estilos crol y espalda se relaciona la RMS entre la dirección antero-posterior (Z) y la dirección medio-lateral (Y), mientras que para los estilos mariposa y braza, el índice relaciona la RMS entre las direcciones antero-posterior (Z) y superior-inferior (X). Las siguientes fórmulas establecen la relación entre el estilo crol y el estilo espalda, y entre el estilo mariposa y el estilo braza.

$$\text{InRMS para el crol y la espalda} = \frac{RMS_z}{RMS_y}$$

$$\text{InRMS para la mariposa y la braza} = \frac{RMS_z}{RMS_x}$$

En el dominio frecuencial se calculó el PP, PPF y SA.

3.6. Análisis estadístico

El análisis estadístico fue realizado con el software SPSS[®], versión 22.0 (IBM[®] Inc., Chicago, IL, USA). El test de normalidad Kolmogorov-Smirnov no asumió la normalidad para todas las variables de este estudio. Sin embargo, se optó por realizar un análisis de varianza (Anova) mixto de medidas repetidas de tres factores (variables * estilo * género), ya que este método (aunque paramétrico) es robusto ante pequeñas variaciones de la normalidad, como en estas variables. Además, existen diferencias en

Metodología

las varianzas de los pares analizados. De esta manera, se aplicó el ajuste Huynh-Feldt con los grados de libertad para establecer el valor de F.

Los factores inter-sujetos fueron el género femenino y el género masculino (Tabla 3.2) y los factores intra-sujetos se muestran en función de las variables de nado cíclicas (Tabla 3.3), de las variables temporales (Tabla 3.4) y frecuenciales de la aceleración (Tabla 3.5).

Se han calculado los estadísticos paramétricos (media y desviación típica) y no paramétricos (percentiles 25, 50 y 75) para describir las variables analizadas. Posteriormente, se han analizado las medias en diferentes condiciones ajustando los efectos principales mediante la prueba post-hoc de Bonferroni.

Tabla 3.2: El género como factores inter-sujetos en el análisis de la varianza mixta

Factores Inter-sujetos	
Género	Femenino (1)
	Masculino (2)

Tabla 3.3: Factores intra-sujetos de las variables cíclicas de nado

Factores Intra-sujetos	
Variable Cíclica	Estilo
V (m·s ⁻¹)	M
	E
	B
	C
FC (c·min ⁻¹)	M
	E
	B
	C
LC (m)	M
	E
	B
	C

V: velocidad; FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; M: mariposa; E: espalda; B: braza; C: crol

Tabla 3.4: Factores intra-sujetos de las variables temporales de la aceleración

Factores Intra-sujetos	
Variable Temporal de la aceleración	Estilo
RMSx (<i>Root Mean Square</i> en la dirección superior-inferior)	M
	E
	B
	C
RMSy (<i>Root Mean Square</i> en la dirección medio-lateral)	M
	E
	B
	C
RMSz (<i>Root Mean Square</i> en la dirección antero-posterior)	M
	E
	B
	C
lnRMS (Índice de la variable RMS)	M
	E
	B
	C
MINx (valor Mínimo de la aceleración en la dirección superior-inferior)	M
	E
	B
	C
MINy (valor Mínimo de la aceleración en la dirección medio-lateral)	M
	E
	B
	C
MINz (valor Mínimo de la aceleración en la dirección antero-posterior)	M
	E
	B
	C
MAXx (valor Máximo de la aceleración en la dirección superior-inferior)	M
	E
	B
	C
MAXy (valor Máximo de la aceleración en la dirección medio-lateral)	M
	E
	B
	C
MAXz (valor Máximo de la aceleración en la dirección antero-posterior)	M
	E
	B
	C

M. mariposa; E: espalda; B: braza; C: crol

Metodología

Tabla 3.5: Factores intra-sujetos de las variables frecuenciales de la aceleración

Factores Intra-sujetos	
Variable Frecuencial de la aceleración	Estilo
PPX (<i>Power Peak</i> en la dirección superior-inferior)	M
	E
	B
	C
PPy (<i>Power Peak</i> en la dirección medio-lateral)	M
	E
	B
	C
PPz (<i>Power Peak</i> en la dirección antero-posterior)	M
	E
	B
	C
PPFx (<i>Power Peak Frequency</i> en la dirección superior-inferior)	M
	E
	B
	C
PPFy (<i>Power Peak Frequency</i> en la dirección medio-lateral)	M
	E
	B
	C
PPFz (<i>Power Peak Frequency</i> en la dirección antero-posterior)	M
	E
	B
	C
SAX (<i>Spectral Area</i> en la dirección superior-inferior)	M
	E
	B
	C
SAy (<i>Spectral Area</i> en la dirección medio-lateral)	M
	E
	B
	C
SAz (<i>Spectral Area</i> en la dirección antero-posterior)	M
	E
	B
	C

M. mariposa; E: espalda; B: braza; C: crol

Además, se ha realizado:

(i) Una correlación bivariada para establecer la relación entre las variables cíclicas del nado con las variables temporales y frecuenciales de la aceleración, a través del coeficiente de correlación de Spearman. La magnitud de las correlaciones se interpretó como baja $<0,09$, media $0,10-0,49$, y alta $>0,50$.

(ii) Una regresión lineal múltiple de la aceleración por estilo y género, en función de la velocidad como variable dependiente, y como variables predictoras a las variables RMS y PPF en las tres direcciones, así como la variable InRMS. Para ello, se determinó la ecuación predictora, su coeficiente de determinación, el error cuadrático medio, coeficientes Beta y el error estándar.

(iii) Una asociación entre tipo de espectro y estilo de nado. Para ello, en cada estilo y género, se agruparon los espectros en cuatro grupos en función de contener sólo 1 pico de potencia, de contener 2 picos de potencia, de contener más de dos picos de potencia, y de mostrar un perfil espectral indefinido. Así, se establecieron diferentes tablas de contingencia y se calculó el valor de chi cuadrado y el estadístico v de Cramer, para determinar la magnitud y la proporcionalidad de la asociación ($0 =$ nula, $0-0,5 =$ moderada, $>0,5$ alta).

Para todos los análisis, se aceptaron aquellas diferencias cuya probabilidad estaba por debajo del 5% ($p=0,05$).

RESULTADOS

4. RESULTADOS

En este apartado se muestran los resultados correspondientes a los diferentes análisis estadísticos realizados. Previamente, en un primer subapartado y a modo de ejemplo, se presentan algunos perfiles de aceleración en cada uno de los estilos.

4.1. Perfiles de aceleración en cada uno de los estilos

De los datos seleccionados en las diferentes zonas de interés, se ha representado para cada estilo y dirección, los perfiles individuales de aceleración. La principal característica de estos perfiles es que representan los cambios de aceleración en cada ciclo de nado, pero la variabilidad inter-sujeto en cada uno de los estilos no permite establecer un patrón visual común de la aceleración intraciclo.

4.1.1. Perfiles de aceleración en el estilo mariposa

En la Figura 4.1 se presenta un ejemplo de los gráficos de aceleración en el estilo mariposa, obtenidos por el acelerómetro en dos nadadores diferentes, en los que se puede observar un patrón cíclico común, y un patrón intraciclo de la aceleración diferenciado.

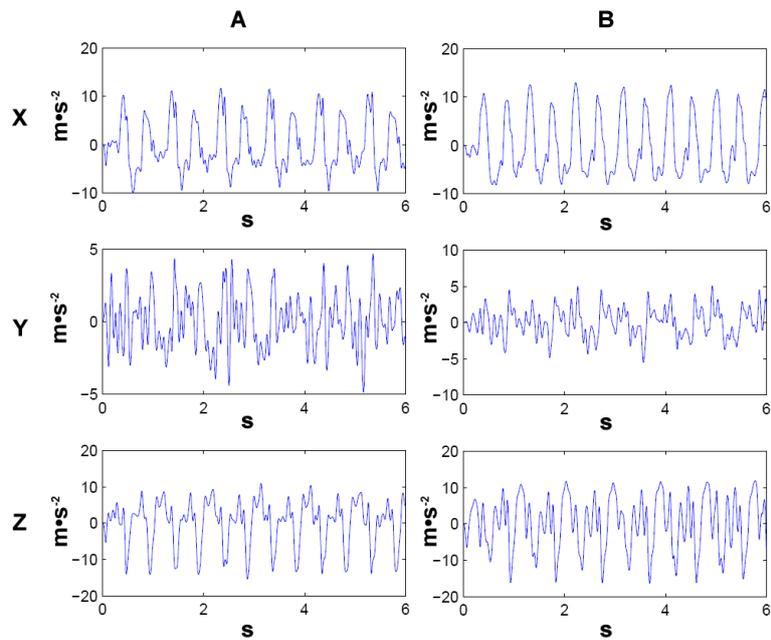


Figura 4.1: Perfiles de la aceleración en las tres direcciones del estilo mariposa. Un ejemplo de dos nadadores

4.1.2. Perfiles de aceleración en el estilo espalda

En la Figura 4.2 se presenta un ejemplo de los gráficos de aceleración en el estilo espalda, obtenidos por el acelerómetro en dos nadadores diferentes, en los que se puede observar un patrón cíclico común, y un patrón intraciclo de la aceleración diferenciado.

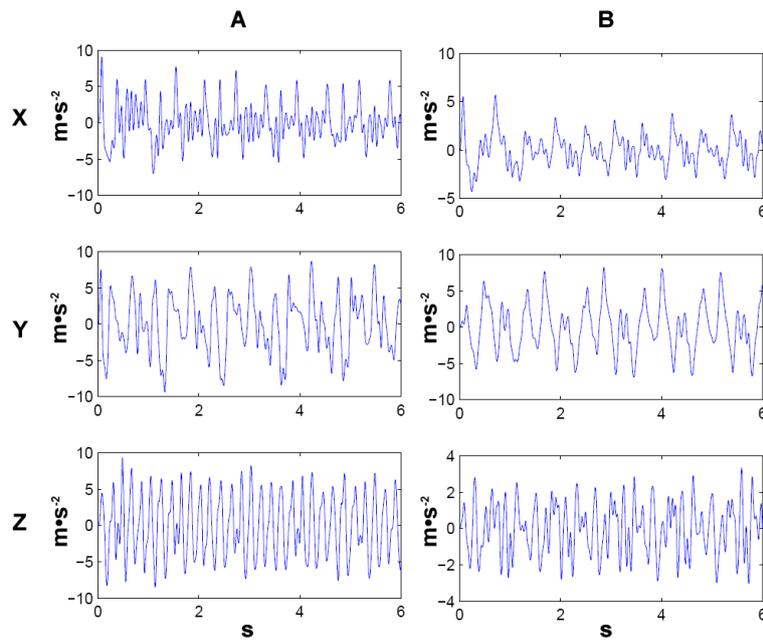


Figura 4.2: Perfiles de la aceleración en las tres direcciones del estilo espalda. Un ejemplo de dos nadadores

4.1.3. Perfiles de aceleración en el estilo braza

En la Figura 4.3 se presenta un ejemplo de los gráficos de aceleración en el estilo braza, obtenidos por el acelerómetro en dos nadadores diferentes, en los que se puede observar un patrón cíclico común, y un patrón intraciclo de la aceleración diferenciado.

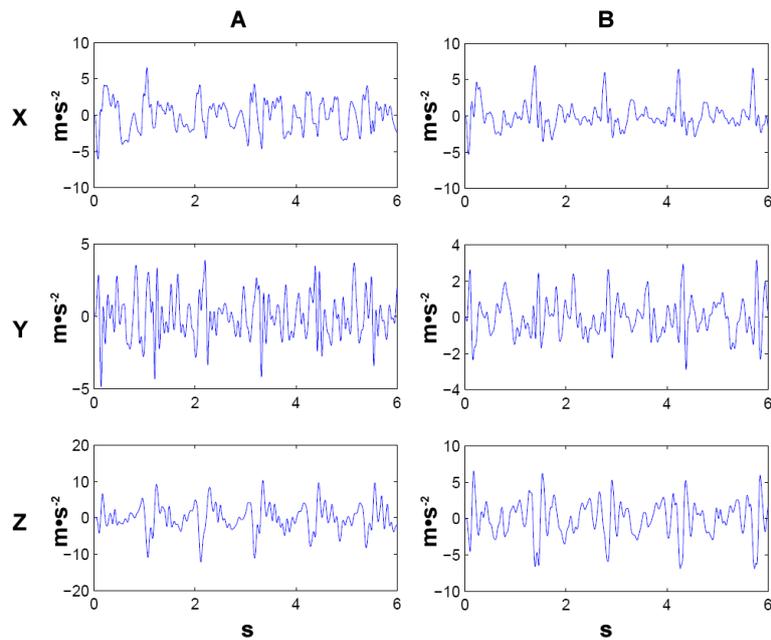


Figura 4.3: Perfiles de la aceleración en las tres direcciones del estilo braza. Un ejemplo de dos nadadores

4.1.4. Perfiles de aceleración en el estilo crol

En la Figura 4.4 se presenta un ejemplo de los gráficos de aceleración en el estilo crol, obtenidos por el acelerómetro en dos nadadores diferentes, en los que se puede observar un patrón cíclico común, y un patrón intraciclo de la aceleración diferenciado.

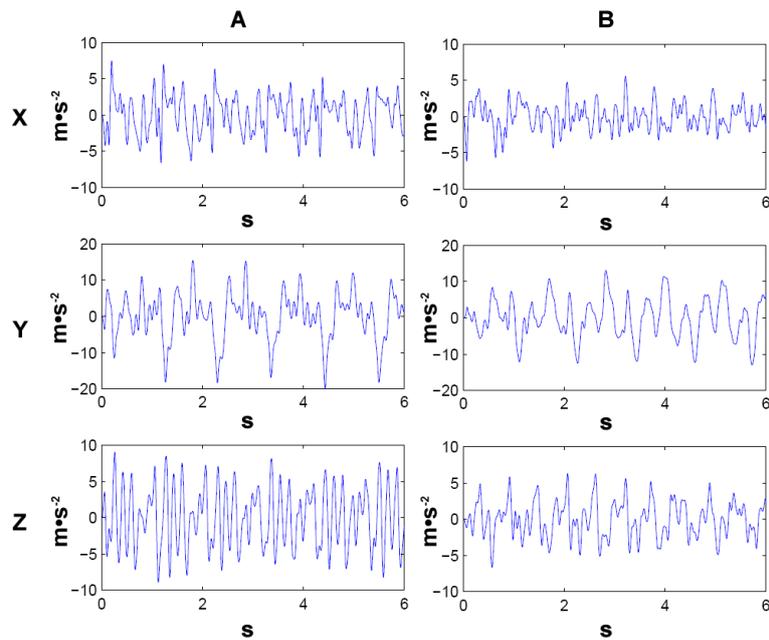


Figura 4.4: Perfiles de la aceleración en las tres direcciones del estilo crol. Un ejemplo de dos nadadores

4.2. Anova mixta de los factores variables*estilos*género

El test de esfericidad de Mauchly, indica que el supuesto de esfericidad no se cumple para estos factores ($\chi^2(2015)=2528.72$, $p<0.05$); por tanto, los grados de libertad se han corregido con la estimación de esfericidad de Huynh-Feldt ($\epsilon=0.04$).

Los resultados obtenidos a través de este análisis son:

Existe una interacción significativa de los factores variables * estilo * género $F(63, 4599) = 4.86$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.06$.

Existe un efecto principal significativo del factor género $F(1, 73) = 17.37$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.19$.

Existe un efecto principal significativo del factor variables $F(21, 1533) = 277.15$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.79$.

Existe un efecto principal significativo del factor estilo $F(3, 219) = 73.26$, $p < 0.01$, $\eta^2 = 0.50$.

Los descriptivos y las comparaciones múltiples estadísticamente significativas se presentan en los siguientes subapartados.

4.2.1. Diferencias estilos*variables*género

Los resultados de la prueba post-hoc de Bonferroni se muestran tanto para las variables cíclicas de nado, como para las variables de la aceleración.

4.2.1.1. Diferencias estilos*variables cíclicas de nado*género

Los descriptivos de las variables cíclicas de nado y sus diferencias entre pares en cada estilo en función del género se muestran en las Tablas 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4.

Tabla 4.1: Descriptivos de las variables cíclicas de nado y sus diferencias entre géneros para el estilo mariposa

Variable	Género	Media	DT	P25	P50	P75	<i>p</i>
V (m·s ⁻¹)	m	1,35	0,20	1,28	1,38	1,50	0,001
	f	1,21	0,15	1,14	1,24	1,33	
FC (c·min ⁻¹)	m	50,33	10,23	39,47	53,57	58,82	NS
	f	46,92	8,97	40,14	48,78	54,30	
LC (m)	m	1,64	0,21	1,53	1,60	1,71	NS
	f	1,58	0,19	1,43	1,56	1,76	

V: velocidad; FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; m: género masculino; f: género femenino; DT: desviación típica; P: percentil; *p*: nivel de significación; NS: no significativa

Tabla 4.2: Descriptivos de las variables cíclicas de nado y sus diferencias entre géneros para el estilo espalda

Variable	Género	Media	DT	P25	P50	P75	<i>p</i>
V (m·s ⁻¹)	m	1,35	0,16	1,33	1,37	1,46	<0,001
	f	1,21	0,10	1,16	1,23	1,27	
FC (c·min ⁻¹)	m	45,12	5,14	42,86	46,15	49,18	0,001
	f	41,06	4,77	37,97	40,54	42,71	
LC (m)	m	1,81	0,23	1,66	1,77	1,98	NS
	f	1,79	0,18	1,64	1,82	1,91	

V: velocidad; FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; m: género masculino; f: género femenino; DT: desviación típica; P: percentil; *p*: nivel de significación; NS: no significativa

Tabla 4.3: Descriptivos de las variables cíclicas de nado y sus diferencias entre géneros para el estilo braza

Variable	Género	Media	DT	P25	P50	P75	<i>p</i>
V (m·s ⁻¹)	m	1,12	0,14	1,01	1,14	1,21	<0,001
	f	1,00	0,10	0,94	1,00	1,09	
FC (c·min ⁻¹)	m	46,17	7,05	41,10	46,15	50,00	NS
	f	43,48	8,21	36,25	42,87	48,20	
LC (m)	m	1,47	0,23	1,34	1,45	1,63	NS
	f	1,42	0,22	1,26	1,39	1,56	

V: velocidad; FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; m: género masculino; f: género femenino; DT: desviación típica; P: percentil; *p*: nivel de significación; NS: no significativa

Resultados

Tabla 4.4: Descriptivos de las variables cíclicas de nado y sus diferencias entre géneros para el estilo crol

Variable	Género	Media	DT	P25	P50	P75	<i>p</i>
V (m·s ⁻¹)	m	1,51	0,19	1,35	1,54	1,67	<0,001
	f	1,35	0,14	1,24	1,37	1,46	
FC (c·min ⁻¹)	m	52,83	5,18	48,39	52,63	55,56	<0,001
	f	48,12	5,18	44,45	46,88	51,72	
LC (m)	m	1,73	0,25	1,48	1,77	1,94	NS
	f	1,70	0,20	1,51	1,70	1,86	

V: velocidad; FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; m: género masculino; f: género femenino; DT: desviación típica; P: percentil; p: nivel de significación; NS: no significativa

En general, las diferencias entre pares en las variables cíclicas de nado para cada estilo en función del género (Tablas 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4), muestran que en el estilo mariposa y en el estilo braza sólo se han encontrado diferencias en la variable velocidad de nado, mientras que en el estilo espalda y en el estilo crol se han encontrado diferencias en la variable velocidad de nado, y en la frecuencia de ciclo.

4.2.1.2. Diferencias estilos*variables de la aceleración*género

En los siguientes subapartados se muestran los descriptivos de las variables de la aceleración de cada uno de los estilos de nado y sus diferencias en función del género.

4.2.1.2.1. Estilo mariposa

Los descriptivos para las variables de la aceleración de nado en el estilo mariposa y sus diferencias entre pares, en función del género en las diferentes direcciones se muestran en las Tablas 4.5, 4.6 y 4.7, además de la variable InRMS que se muestra en la Tabla 4.8.

Tabla 4.5: Descriptivos de las variables de la aceleración en la dirección superior-inferior y sus diferencias entre géneros para el estilo mariposa

Variable	Género	Media	DT	P25	P50	P75	<i>p</i>
RMS (m·s ⁻²) ²	m	3,19	1,25	2,12	3,29	4,20	0,001
	f	2,37	0,79	1,81	2,20	2,86	
MIN (m·s ⁻²)	m	-8,16	2,35	-9,91	-8,34	-5,93	0,003
	f	-6,56	2,15	-8,52	-6,26	-4,73	
MAX (m·s ⁻²)	m	8,75	3,05	6,18	8,31	11,37	<0,001
	f	6,24	1,96	4,96	5,85	7,12	
PP (m ² ·s ⁻⁴)	m	117,95	97,32	35,75	97,70	182,13	<0,001
	f	52,11	41,99	21,76	38,17	76,39	
PPF (Hz)	m	1,76	0,47	1,46	1,83	1,95	NS
	f	1,68	0,30	1,46	1,71	1,92	
SA (m ² ·s ⁻⁴)	m	266,53	186,27	101,37	244,48	388,47	0,001
	f	144,45	94,97	76,42	114,37	201,17	

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; m: género masculino; f: género femenino; DT: desviación típica; P: percentil; p: nivel de significación; NS: no significativa

Tabla 4.6: Descriptivos de las variables de la aceleración en la dirección medio-lateral y sus diferencias entre géneros para el estilo mariposa

Variable	Género	Media	DT	P25	P50	P75	<i>p</i>
RMS (m·s ⁻²) ²	m	1,33	0,35	1,16	1,31	1,45	0,001
	f	1,05	0,32	0,89	0,98	1,12	
MIN (m·s ⁻²)	m	-4,56	1,19	-5,40	-4,32	-3,66	<0,001
	f	-3,65	0,95	-4,24	-3,50	-2,98	
MAX (m·s ⁻²)	m	4,61	1,34	3,69	4,24	5,60	0,002
	f	3,72	1,12	3,00	3,66	4,14	
PP (m ² ·s ⁻⁴)	m	5,68	5,16	2,84	4,51	6,55	NS
	f	4,11	4,47	1,73	2,96	5,33	
PPF (Hz)	m	3,32	1,33	1,95	3,30	4,52	NS
	f	3,37	1,58	1,95	3,30	4,61	
SA (m ² ·s ⁻⁴)	m	46,20	27,86	32,54	41,03	52,43	0,013
	f	29,98	27,43	19,69	24,38	30,16	

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; m: género masculino; f: género femenino; DT: desviación típica; P: percentil; p: nivel de significación; NS: no significativa

Resultados

Tabla 4.7: Descriptivos de las variables de la aceleración en la dirección antero-posterior y sus diferencias entre géneros para el estilo mariposa

Variable	Género	Media	DT	P25	P50	P75	<i>p</i>
RMS (m·s ⁻²) ²	m	4,20	1,18	3,31	4,09	5,08	NS
	f	3,78	0,87	3,09	3,68	4,25	
MIN (m·s ⁻²)	m	-13,35	3,53	-15,41	-13,56	-10,31	<0,001
	f	-10,17	2,40	-11,92	-10,14	-8,39	
MAX (m·s ⁻²)	m	9,86	2,96	7,79	9,02	11,30	NS
	f	8,96	2,78	7,01	8,87	10,42	
PP (m ² ·s ⁻⁴)	m	170,32	119,76	75,22	136,67	247,38	NS
	f	130,65	75,55	82,92	112,03	169,40	
PPF (Hz)	m	1,73	0,33	1,59	1,83	1,95	NS
	f	1,66	0,26	1,46	1,71	1,92	
SA (m ² ·s ⁻⁴)	m	452,09	239,28	266,21	405,92	620,37	0,016
	f	336,29	154,68	225,47	319,65	411,58	

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; m: género masculino; f: género femenino; DT: desviación típica; P: percentil; p: nivel de significación; NS: no significativa

Tabla 4.8: Descriptivos del lnRMS de la aceleración (dirección antero-posterior vs superior-inferior) y sus diferencias entre géneros para el estilo mariposa

Variable	Género	Media	DT	P25	P50	P75	<i>p</i>
lnRMS	m	1,42	0,44	1,13	1,33	1,54	0,009
	f	1,66	0,31	1,38	1,67	1,90	

lnRMS: índice de RMS; m: género masculino; f: género femenino; DT: desviación típica; P: percentil; p: nivel de significación

En general, en la dirección superior-inferior existen diferencias entre géneros en todas las variables de nado, con la excepción de la variable frecuencial PPF (Tabla 4.5). En la dirección medio-lateral existen diferencias, con la excepción de las variables frecuenciales PP y PPF (Tabla 4.6). En la dirección antero-posterior, existen diferencias entre géneros en las variables de nado MIN y SA (Tabla 4.7). Y para la variable lnRMS existen diferencias entre géneros (Tabla 4.8).

4.2.1.2.2. Estilo espalda

Los descriptivos para las variables de la aceleración de nado en el estilo espalda y sus diferencias entre pares en función del género se muestran en las Tablas 4.9, 4.10 y 4.11, además de la variable InRMS que se muestra en la Tabla 4.12.

Tabla 4.9: Descriptivos de las variables de la aceleración en la dirección superior-inferior y sus diferencias entre géneros para el estilo espalda

Variable	Género	Media	DT	P25	P50	P75	<i>p</i>
RMS (m·s ⁻²) ²	m	1,84	0,42	1,51	1,68	2,07	0,002
	f	1,56	0,32	1,28	1,55	1,81	
MIN (m·s ⁻²)	m	-6,22	1,32	-7,03	-6,03	-5,18	NS
	f	-5,74	1,42	-6,85	-5,43	-4,52	
MAX (m·s ⁻²)	m	6,18	1,16	5,39	5,81	6,92	0,010
	f	5,52	0,97	4,83	5,33	6,15	
PP (m ² ·s ⁻⁴)	m	16,64	10,51	10,54	14,17	19,06	0,029
	f	11,98	7,13	6,50	8,98	15,96	
PPF (Hz)	m	2,49	0,87	1,59	2,81	3,30	NS
	f	2,89	0,90	2,47	2,87	3,63	
SA (m ² ·s ⁻⁴)	m	84,26	38,67	55,36	70,48	106,32	0,013
	f	64,75	26,08	44,79	61,36	83,31	

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; m: género masculino; f: género femenino; DT: desviación típica; P: percentil; *p*: nivel de significación; NS: no significativa

Tabla 4.10: Descriptivos de las variables de la aceleración en la dirección medio-lateral y sus diferencias entre géneros para el estilo espalda

Variable	Género	Media	DT	P25	P50	P75	<i>p</i>
RMS (m·s ⁻²) ²	m	3,17	1,00	2,56	3,14	3,76	0,004
	f	2,56	0,74	2,03	2,42	3,08	
MIN (m·s ⁻²)	m	-9,07	2,75	-10,22	-9,03	-7,26	0,002
	f	-7,24	2,02	-8,53	-6,90	-6,11	
MAX (m·s ⁻²)	m	9,35	2,72	7,30	9,21	10,38	0,002
	f	7,57	1,99	6,22	7,09	8,73	
PP (m ² ·s ⁻⁴)	m	84,00	79,84	34,67	47,77	109,80	NS
	f	56,55	42,51	19,62	45,52	75,05	
PPF (Hz)	m	2,37	0,48	2,32	2,44	2,56	0,016
	f	2,15	0,24	1,95	2,14	2,29	
SA (m ² ·s ⁻⁴)	m	257,12	151,72	157,38	238,0	333,86	0,002
	f	163,34	91,12	100,30	134,62	218,56	

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; m: género masculino; f: género femenino; DT: desviación típica; P: percentil; *p*: nivel de significación; NS: no significativa

Resultados

Tabla 4.11: Descriptivos de las variables de la aceleración en la dirección antero-posterior y sus diferencias entre géneros para el estilo espalda

Variable	Género	Media	DT	P25	P50	P75	<i>p</i>
RMS ($m \cdot s^{-2}$) ²	m	2,63	0,87	1,89	2,60	3,23	<0,001
	f	1,78	0,58	1,40	1,67	2,08	
MIN ($m \cdot s^{-2}$)	m	-8,46	2,59	-9,95	-8,28	-6,41	<0,001
	f	-5,65	1,74	-6,95	-5,53	-4,45	
MAX ($m \cdot s^{-2}$)	m	7,46	2,21	5,44	7,87	8,97	<0,001
	f	5,03	1,17	4,18	4,92	5,79	
PP ($m^2 \cdot s^{-4}$)	m	50,33	42,75	16,96	33,53	70,14	0,001
	f	22,03	20,14	7,23	12,92	31,06	
PPF (Hz)	m	4,83	0,95	4,64	4,88	5,25	0,001
	f	4,01	1,12	3,81	4,21	4,61	
SA ($m^2 \cdot s^{-4}$)	m	172,15	106,44	81,71	154,97	234,70	<0,001
	f	78,96	49,95	47,97	64,85	102,16	

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; m: género masculino; f: género femenino; DT: desviación típica; P: percentil; *p*: nivel de significación

Tabla 4.12: Descriptivos del lnRMS de la aceleración (dirección antero-posterior vs medio-lateral) y sus diferencias entre géneros para el estilo espalda

Variable	Género	Media	DT	P25	P50	P75	<i>p</i>
lnRMS	m	0,86	0,24	0,66	0,88	1,02	0,009
	f	0,72	0,21	0,55	0,69	0,84	

lnRMS: índice de RMS; m: género masculino; f: género femenino; DT: desviación típica; P: percentil; *p*: nivel de significación

En general, en la dirección superior-inferior existen diferencias entre géneros en todas las variables de nado, con la excepción de la variable temporal MIN y la frecuencial PPF (Tabla 4.9). En la dirección medio-lateral, existen diferencias entre géneros en todas las variables de nado, con la excepción de la variable frecuencial PP (Tabla 4.10). En la dirección antero-posterior, existen diferencias entre géneros en todas las variables de nado (Tabla 4.11). Y para la variable lnRMS existen diferencias entre géneros (Tabla 4.12).

4.2.1.2.3. Estilo braza

Los descriptivos para las variables de la aceleración de nado en el estilo braza y sus diferencias entre pares en función del género se muestran en las Tablas 4.13, 4.14 y 4.15, así como para la variable InRMS que se muestra en la Tabla 4.16.

Tabla 4.13: Descriptivos de las variables de la aceleración en la dirección superior-inferior y sus diferencias entre géneros para el estilo braza

Variable	Género	Media	DT	P25	P50	P75	<i>p</i>
RMS (m·s ⁻²) ²	m	1,70	0,51	1,36	1,57	1,96	0,012
	f	1,38	0,56	1,08	1,25	1,50	
MIN (m·s ⁻²)	m	-7,05	2,36	-8,25	-6,24	-5,37	0,002
	f	-5,57	1,49	-5,85	-5,34	-4,65	
MAX (m·s ⁻²)	m	7,04	1,60	5,47	6,91	8,69	<0,001
	f	5,67	1,53	4,53	5,31	6,93	
PP (m ² ·s ⁻⁴)	m	14,52	13,29	6,55	9,11	17,50	NS
	f	10,79	18,04	3,64	6,89	11,01	
PPF (Hz)	m	2,98	1,18	1,83	3,05	4,15	0,017
	f	2,36	1,00	1,46	2,26	3,05	
SA (m ² ·s ⁻⁴)	m	88,94	53,28	49,03	73,51	100,12	0,027
	f	59,80	58,52	31,69	44,52	67,10	

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; m: género masculino; f: género femenino; DT: desviación típica; P: percentil; *p*: nivel de significación; NS: no significativa

Tabla 4.14: Descriptivos de las variables de la aceleración en la dirección medio-lateral y sus diferencias entre géneros para el estilo braza

Variable	Género	Media	DT	P25	P50	P75	<i>p</i>
RMS (m·s ⁻²) ²	m	1,14	0,24	0,97	1,11	1,33	<0,001
	f	0,93	0,20	0,81	0,91	1,07	
MIN (m·s ⁻²)	m	-4,62	1,20	-5,31	-4,52	-3,83	<0,001
	f	-3,40	0,81	-3,97	-3,30	-2,89	
MAX (m·s ⁻²)	m	4,30	1,25	3,54	4,09	5,07	0,001
	f	3,38	1,02	2,64	3,19	4,05	
PP (m ² ·s ⁻⁴)	m	4,22	2,84	1,98	3,46	5,90	0,002
	f	2,50	1,69	1,14	2,16	3,59	
PPF (Hz)	m	3,13	1,49	1,95	2,81	4,15	NS
	f	3,59	1,44	2,38	3,91	4,64	
SA (m ² ·s ⁻⁴)	m	34,96	14,86	23,54	30,50	44,53	<0,001
	f	22,60	9,35	16,26	20,89	28,44	

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; m: género masculino; f: género femenino; DT: desviación típica; P: percentil; *p*: nivel de significación; NS: no significativa

Resultados

Tabla 4.15: Descriptivos de las variables de la aceleración en la dirección antero-posterior y sus diferencias entre géneros para el estilo braza

Variable	Género	Media	DT	P25	P50	P75	<i>p</i>
RMS (m·s ⁻²) ²	m	2,71	0,76	2,15	2,48	3,17	NS
	f	2,39	1,04	1,74	2,17	2,73	
MIN (m·s ⁻²)	m	-11,61	3,31	-14,14	-11,35	-8,71	0,001
	f	-8,84	3,51	-10,34	-8,34	-6,68	
MAX (m·s ⁻²)	m	9,10	2,89	6,93	9,22	10,28	NS
	f	7,89	3,21	6,08	7,03	8,88	
PP (m ² ·s ⁻⁴)	m	39,30	30,17	18,74	28,13	48,46	NS
	f	31,83	44,00	10,11	20,61	34,20	
PPF (Hz)	m	2,30	0,88	1,59	2,08	2,81	NS
	f	2,28	0,94	1,46	2,01	3,27	
SA (m ² ·s ⁻⁴)	m	223,51	120,96	129,20	182,68	301,84	NS
	f	170,35	182,15	86,75	139,61	184,07	

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; m: género masculino; f: género femenino; DT: desviación típica; P: percentil; p: nivel de significación; NS: no significativa

Tabla 4.16: Descriptivos del lnRMS de la aceleración (dirección antero-posterior vs superior-inferior) y sus diferencias entre géneros para el estilo braza

Variable	Género	Media	DT	P25	P50	P75	<i>p</i>
lnRMS	m	1,63	0,32	1,41	1,60	1,86	NS
	f	1,73	0,27	1,58	1,69	1,93	

lnRMS: índice de RMS; m: género masculino; f: género femenino; DT: desviación típica; P: percentil; p: nivel de significación; NS: no significativa

En general, en la dirección superior-inferior existen diferencias entre géneros en todas las variables de nado, excepto en la variable frecuencial PP (Tabla 4.13). En la dirección medio-lateral existen diferencias entre géneros en todas las variables de nado, con la excepción de la variable frecuencial PPF (Tabla 4.14). En la dirección antero-posterior sólo existen diferencias entre géneros en la variable temporal MIN (Tabla 4.15). Y para la variable lnRMS no existen diferencias entre géneros (Tabla 4.16).

4.2.1.2.4. Estilo crol

Los descriptivos para las variables de la aceleración de nado en el estilo crol y las diferencias entre pares en función del género se muestran en las Tablas 4.17, 4.18 y 4.19, así como para la variable InRMS que se muestra en la Tabla 4.20.

Tabla 4.17: Descriptivos de las variables de la aceleración en la dirección superior-inferior y sus diferencias entre géneros para el estilo crol

Variable	Género	Media	DT	P25	P50	P75	<i>p</i>
RMS (m·s ⁻²) ²	m	1,88	0,38	1,52	1,85	2,16	<0,001
	f	1,54	0,31	1,39	1,49	1,73	
MIN (m·s ⁻²)	m	-6,32	1,48	-7,26	-6,17	-5,24	0,005
	f	-5,45	1,10	-6,31	-5,24	-4,50	
MAX (m·s ⁻²)	m	6,11	1,41	5,10	6,02	6,67	<0,001
	f	4,79	1,05	3,98	4,65	5,43	
PP (m ² ·s ⁻⁴)	m	16,14	10,16	7,83	13,10	22,29	NS
	f	13,31	8,20	8,00	12,42	16,05	
PPF (Hz)	m	3,43	2,03	1,71	3,30	4,88	NS
	f	3,15	1,62	1,59	2,62	4,64	
SA (m ² ·s ⁻⁴)	m	88,96	37,48	57,73	83,58	106,94	<0,001
	f	59,74	22,87	45,28	55,12	74,28	

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; m: género masculino; f: género femenino; DT: desviación típica; P: percentil; *p*: nivel de significación; NS: no significativa

Tabla 4.18: Descriptivos de las variables de la aceleración en la dirección medio-lateral y sus diferencias entre géneros para el estilo crol

Variable	Género	Media	DT	P25	P50	P75	<i>p</i>
RMS (m·s ⁻²) ²	m	5,41	1,39	4,49	5,18	6,10	0,005
	f	4,51	1,27	3,71	4,42	4,88	
MIN (m·s ⁻²)	m	-15,01	3,84	-17,02	-13,81	-12,04	0,001
	f	-12,14	3,03	-14,61	-12,41	-9,33	
MAX (m·s ⁻²)	m	14,63	3,97	11,39	13,86	17,24	0,002
	f	11,88	3,30	9,36	11,52	12,76	
PP (m ² ·s ⁻⁴)	m	258,32	191,34	134,24	199,66	277,33	NS
	f	183,09	151,60	83,24	152,31	223,98	
PPF (Hz)	m	1,97	0,84	0,98	2,44	2,69	NS
	f	2,09	0,61	2,01	2,32	2,44	
SA (m ² ·s ⁻⁴)	m	731,20	373,98	470,92	626,49	889,98	0,007
	f	511,61	304,45	342,35	457,77	545,16	

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; m: género masculino; f: género femenino; DT: desviación típica; P: percentil; *p*: nivel de significación; NS: no significativa

Resultados

Tabla 4.19: Descriptivos de las variables de la aceleración en la dirección antero-posterior y sus diferencias entre géneros para el estilo crol

Variable	Género	Media	DT	P25	P50	P75	<i>p</i>
RMS (m·s ⁻²) ²	m	2,87	0,94	2,14	2,61	3,46	<0,001
	f	1,79	0,52	1,37	1,81	2,17	
MIN (m·s ⁻²)	m	-8,85	2,68	-10,76	-8,92	-6,94	<0,001
	f	-5,80	1,77	-6,74	-5,55	-4,40	
MAX (m·s ⁻²)	m	8,02	2,88	5,60	7,42	9,94	<0,001
	f	4,94	1,44	3,94	4,75	5,72	
PP (m ² ·s ⁻⁴)	m	51,09	39,42	18,01	40,88	82,67	<0,001
	f	20,62	14,36	7,90	17,25	32,23	
PPF (Hz)	m	4,39	1,57	2,32	5,13	5,49	0,038
	f	3,62	1,57	1,74	4,52	4,76	
SA (m ² ·s ⁻⁴)	m	206,96	130,99	106,31	159,03	255,65	<0,001
	f	80,65	44,03	46,14	74,01	105,27	

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; m: género masculino; f: género femenino; DT: desviación típica; P: percentil; p: nivel de significación

Tabla 4.20: Descriptivos del lnRMS de la aceleración (dirección antero-posterior vs medio-lateral) y sus diferencias entre géneros para el estilo crol

Variable	Género	Media	DT	P25	P50	P75	<i>p</i>
lnRMS	m	0,54	0,17	0,42	0,51	0,67	<0,001
	f	0,41	0,12	0,33	0,41	0,48	

lnRMS: índice de RMS; m: género masculino; f: género femenino; DT: desviación típica; P: percentil; p: nivel de significación

En general, en la dirección superior-inferior y en la dirección medio-lateral existen diferencias entre géneros en todas las variables de nado, con la excepción de las variables frecuenciales PP y PPF (Tablas 4.17 y 4.18). En la dirección antero-posterior, existen diferencias entre géneros en todas las variables de nado (Tabla 4.19). Y para la variable lnRMS existen diferencias entre géneros (Tabla 4.20).

4.2.2. Diferencias género*variables*estilos

Los resultados de la prueba post-hoc de Bonferroni se muestran tanto para las variables cíclicas de nado, como para las variables de la aceleración.

4.2.2.1. Diferencias género*variables cíclicas de nado*estilos

Los descriptivos para las variables cíclicas de nado por estilos, y sus diferencias por pares tras la prueba post-hoc de Bonferroni del género femenino (Tabla 4.21), muestra diferencias para la velocidad de nado en todos los pares de estilos, excepto entre mariposa vs espalda. Para la FC no se obtienen diferencias entre mariposa vs braza, mariposa vs crol, y entre espalda vs braza. Para la LC existen diferencias en todos los pares de estilos, excepto entre mariposa vs crol.

Tabla 4.21: Descriptivos del género femenino de las variables cíclicas de nado para cada estilo y sus diferencias

Variable	Estilo	Media	DT	P25	P50	P75
V (m·s ⁻¹)	M	1,21 ^{B,C}	0,15	1,14	1,24	1,33
	E	1,21 ^{B,C}	0,10	1,16	1,23	1,27
	B	1,00 ^C	0,10	0,94	1,00	1,09
	C	1,35	0,14	1,24	1,37	1,46
FC (c·min ⁻¹)	M	46,92 ^E	8,97	40,14	48,78	54,30
	E	41,06 ^C	4,77	37,97	40,54	42,71
	B	43,48 ^C	8,21	36,25	42,87	48,20
	C	48,12	5,18	44,45	46,88	51,72
LC (m)	M	1,58 ^{E,B}	0,19	1,43	1,56	1,76
	E	1,79 ^{B,C}	0,19	1,64	1,82	1,91
	B	1,42 ^C	0,22	1,26	1,39	1,56
	C	1,70	0,20	1,51	1,70	1,86

V: velocidad; FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; M: mariposa; E: espalda; B: braza; C: crol; ^{E,B,C}p<0,01 con respecto al estilo del superíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Los descriptivos para las variables cíclicas de nado por estilos, y sus diferencias por pares tras la prueba post-hoc de Bonferroni del género masculino (Tabla 4.22), muestran que el comportamiento por pares es similar al del género femenino. Existen diferencias para la velocidad de nado en todos los pares de estilos, excepto entre mariposa vs espalda. Para la FC no se obtienen diferencias entre mariposa vs braza, mariposa vs crol, y entre espalda vs braza. Para la LC existen diferencias en todos los pares de estilos, excepto entre mariposa vs crol.

Resultados

Tabla 4.22: Descriptivos del género masculino de las variables cíclicas de nado para cada estilo y sus diferencias

Variable	Estilo	Media	DT	P25	P50	P75
V (m·s ⁻¹)	M	1,35 ^{E,B,C}	0,20	1,28	1,38	1,50
	E	1,35 ^{E,B,C}	0,16	1,33	1,37	1,46
	B	1,12 ^C	0,14	1,01	1,14	1,21
	C	1,51	0,19	1,35	1,54	1,67
FC (c·min ⁻¹)	M	50,33 ^E	10,23	39,47	53,57	58,82
	E	45,12	5,14	42,86	46,15	49,18
	B	46,17 ^C	7,05	41,10	46,15	50,00
LC (m)	C	52,83	5,18	48,39	52,63	55,56
	M	1,64 ^{E,B}	0,22	1,53	1,60	1,71
	E	1,81 ^c	0,23	1,66	1,77	1,98
	B	1,47 ^C	0,23	1,34	1,45	1,63
	C	1,73	0,25	1,49	1,77	1,94

V: velocidad; FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; M: mariposa; E: espalda; B: braza; C: crol; ^{E,B,C} p<0,01 con respecto al estilo del superíndice; ^{e,b,c} p<0,05 con respecto al estilo del subíndice; DT: desviación típica; P: percentil

4.2.2.2. Diferencias género*variables de la aceleración*estilos

En este apartado se presentan los resultados obtenidos de la comparación de las variables de la aceleración temporales o frecuenciales en cada dirección y en función del género.

4.2.2.2.1. Género Femenino:

Los descriptivos para las variables temporales de la aceleración por estilos, y sus diferencias por pares tras la prueba post-hoc de Bonferroni del género femenino (Tabla 4.23), muestran diferencias en la dirección superior-inferior para la variable RMS entre los pares de estilos de mariposa con los otros tres estilos, entre mariposa vs espalda, vs braza y vs crol. Para la variable MIN no se obtienen diferencias. Para la variable MAX existen diferencias entre los pares de estilos de crol con los otros tres estilos, entre crol vs mariposa, vs espalda y vs braza.

Tabla 4.23: Descriptivos del género femenino de las variables temporales de la aceleración para cada estilo en la dirección superior-inferior y sus diferencias

Variable	Estilo	Media	DT	P25	P50	P75
RMS (m·s ⁻²) ²	M	2,37 ^{E,B,C}	0,79	1,81	2,20	2,86
	E	1,56	0,32	1,28	1,55	1,81
	B	1,38	0,56	1,08	1,25	1,50
	C	1,54	0,31	1,39	1,49	1,73
MIN (m·s ⁻²)	M	-6,56	2,15	-8,52	-6,26	-4,73
	E	-5,74	1,42	-6,85	-5,43	-4,52
	B	-5,57	1,49	-5,85	-5,34	-4,65
	C	-5,45	1,10	-6,31	-5,24	-4,50
MAX (m·s ⁻²)	M	6,24 ^C	1,96	4,96	5,85	7,12
	E	5,52 _c	0,97	4,83	5,33	6,15
	B	5,67 _c	1,53	4,53	5,31	6,93
	C	4,79	1,05	3,98	4,65	5,43

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; M: mariposa; E: espalda; B: braza; C: crol; ^{E,B,C}p<0,01 con respecto al estilo del superíndice; _{e,b,c}p<0,05 con respecto al estilo del subíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Los descriptivos para las variables temporales de la aceleración por estilos, y sus diferencias por pares tras la prueba post-hoc de Bonferroni del género femenino (Tabla 4.24), muestra diferencias en la dirección medio-lateral para las variables temporales de RMS, MIN y MAX entre todos los pares de estilos, excepto mariposa vs braza para las tres variables.

Tabla 4.24: Descriptivos del género femenino de las variables temporales de la aceleración para cada estilo en la dirección medio-lateral y sus diferencias

Variable	Estilo	Media	DT	P25	P50	P75
RMS (m·s ⁻²) ²	M	1,05 ^{E,C}	0,32	0,89	0,98	1,12
	E	2,56 ^{B,C}	0,74	2,03	2,42	3,08
	B	0,93 ^C	0,20	0,81	0,91	1,07
	C	4,51	1,27	3,71	4,42	4,88
MIN (m·s ⁻²)	M	-3,65 ^{E,C}	0,95	-4,24	-3,50	-2,98
	E	-7,24 ^{B,C}	2,02	-8,53	-6,90	-6,11
	B	-3,40 ^C	0,81	-3,97	-3,30	-2,89
	C	-12,14	3,03	-14,61	-12,41	-9,33
MAX (m·s ⁻²)	M	3,72 ^{E,C}	1,12	3,00	3,66	4,14
	E	7,57 ^{B,C}	1,99	6,22	7,09	8,73
	B	3,38 ^C	1,02	2,64	3,19	4,05
	C	11,88	3,30	9,36	11,52	12,76

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; M: mariposa; E: espalda; B: braza; C: crol; ^{E,B,C}p<0,01 con respecto al estilo del superíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Resultados

Los descriptivos para las variables temporales de la aceleración por estilos, y sus diferencias por pares tras la prueba post-hoc de Bonferroni del género femenino (Tabla 4.25), muestra diferencias en la dirección antero-posterior para las variables temporales de RMS, MIN y MAX entre todos los pares de estilos, excepto entre espalda vs crol para las tres variables, y entre mariposa vs braza para las variables MIN y MAX.

Tabla 4.25: Descriptivos del género femenino de las variables temporales de la aceleración para cada estilo en la dirección antero-posterior y sus diferencias

Variable	Estilo	Media	DT	P25	P50	P75
RMS (m·s ⁻²) ²	M	3,78 ^{M,B,C}	0,87	3,09	3,68	4,25
	E	1,78 ^B	0,58	1,40	1,67	2,08
	B	2,39 ^C	1,04	1,74	2,17	2,73
	C	1,79	0,52	1,37	1,81	2,17
MIN (m·s ⁻²)	M	-10,17 ^{E,C}	2,40	-11,92	-10,14	-8,39
	E	-5,65 ^B	1,74	-6,95	-5,53	-4,45
	B	-8,84 ^C	3,51	-10,34	-8,34	-6,68
	C	-5,80	1,76	-6,74	-5,56	-4,40
MAX (m·s ⁻²)	M	8,96 ^{E,C}	2,78	7,01	8,87	10,42
	E	5,03 ^B	1,17	4,18	4,92	5,79
	B	7,89 ^C	3,21	6,08	7,03	8,88
	C	4,94	1,44	3,94	4,75	5,72

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; M: mariposa; E: espalda; B: braza; C: crol; ^{E,B,C}p<0,01 con respecto al estilo del superíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Los descriptivos para las variables InRMS de la aceleración por estilos, y sus diferencias por pares tras la prueba post-hoc de Bonferroni del género femenino (Tabla 4.26), muestra diferencias entre todos los pares de estilos, excepto entre mariposa vs braza.

Tabla 4.26: Descriptivos del género femenino para el InRMS de la aceleración para cada estilo y sus diferencias

Variable	Estilo	Media	DT	P25	P50	P75
InRMS	M (z/x)	1,66 ^{E,C}	0,31	1,38	1,67	1,90
	E (z/y)	0,72 ^{B,C}	0,21	0,55	0,69	0,84
	B (z/x)	1,73 ^C	0,27	1,58	1,69	1,93
	C (z/y)	0,41	0,12	0,33	0,41	0,48

InRMS: índice de RMS; M: mariposa; E: espalda; B: braza; C: crol; x: dirección superior-inferior; y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior; ^{E,B,C}p<0,01 con respecto al estilo del superíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Los descriptivos para las variables frecuenciales de la aceleración por estilos, y sus diferencias por pares tras la prueba post-hoc de Bonferroni del género femenino (Tabla 4.27), muestra diferencias en la dirección superior-inferior para las variables frecuenciales de PP, PPF y SA entre los pares de estilos de mariposa con los otros tres estilos, mariposa vs espalda, vs braza y vs crol.

Tabla 4.27: Descriptivos del género femenino de las variables frecuenciales de la aceleración para cada estilo en la dirección superior-inferior y sus diferencias

Variable	Estilo	Media	DT	P25	P50	P75
PP ($m^2 \cdot s^{-4}$)	M	52,11 _{e,c} ^B	41,99	21,76	38,17	76,39
	E	11,98	7,13	6,50	8,98	15,96
	B	10,79	18,04	3,64	6,89	11,01
	C	13,31	8,20	8,00	12,42	16,05
PPF (Hz)	M	1,68 ^{E,B,C}	0,30	1,46	1,71	1,92
	E	2,89	0,90	2,47	2,87	3,63
	B	2,36	1,00	1,46	2,26	3,05
	C	3,15	1,62	1,59	2,62	4,64
SA ($m^2 \cdot s^{-4}$)	M	144,45 _e ^{B,C}	94,97	76,42	114,37	201,17
	E	64,75	26,08	44,79	61,36	83,31
	B	59,80	58,52	31,69	44,52	67,10
	C	59,74	22,87	45,28	55,12	74,28

PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; M: mariposa; E: espalda; B: braza; C: crol; ^{E,B,C} $p < 0,01$ con respecto al estilo del superíndice; _{e,b,c} $p < 0,05$ con respecto al estilo del subíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Los descriptivos para las variables frecuenciales de la aceleración por estilos, y sus diferencias por pares tras la prueba post-hoc de Bonferroni del género femenino en la dirección medio-lateral (Tabla 4.28), muestra diferencias para las variables frecuenciales de PP, PPF y SA entre todos los pares de estilos, excepto entre de mariposa vs braza, y tampoco entre espalda vs crol para la variable PPF.

Resultados

Tabla 4.28: Descriptivos del género femenino de las variables frecuenciales de la aceleración para cada estilo en la dirección medio-lateral y sus diferencias

Variable	Estilo	Media	DT	P25	P50	P75
PP ($m^2 \cdot s^{-4}$)	M	4,11 ^{E,C}	4,47	1,73	2,96	5,33
	E	56,55 ^{B,C}	42,51	19,62	45,52	75,05
	B	2,50 ^C	1,69	1,14	2,16	3,59
	C	183,09	151,60	83,24	152,31	223,98
PPF (Hz)	M	3,37 ^{E,C}	1,58	1,95	3,30	4,61
	E	2,15 ^B	0,24	1,95	2,14	2,29
	B	3,59 ^C	1,44	2,38	3,91	4,64
SA ($m^2 \cdot s^{-4}$)	C	2,09	0,61	2,01	2,32	2,44
	M	29,98 ^{E,C}	27,43	19,69	24,38	30,16
	E	163,34 ^{B,C}	91,12	100,30	134,62	218,56
	B	22,60 ^C	9,35	16,26	20,89	28,44
	C	511,61	304,45	342,35	457,77	545,16

PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; M: mariposa; E: espalda; B: braza; C: crol; ^{E,B,C} $p < 0,01$ con respecto al estilo del superíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Los descriptivos para las variables frecuenciales de la aceleración por estilos, y sus diferencias por pares tras la prueba post-hoc de Bonferroni del género femenino en la dirección antero-posterior (Tabla 4.29), muestra diferencias para la variable frecuencial PP entre mariposa y el resto de estilos, mariposa vs espalda, vs braza y vs crol. Para las variables PPF y SA existen tales diferencias entre todos los pares de estilos, excepto entre espalda vs crol.

Tabla 4.29: Descriptivos del género femenino de las variables frecuenciales de la aceleración para cada estilo en la dirección antero-posterior y sus diferencias

Variable	Estilo	Media	DT	P25	P50	P75
PP ($m^2 \cdot s^{-4}$)	M	130,65 ^{E,B,C}	75,55	82,92	112,03	169,40
	E	22,03	20,14	7,23	12,92	31,06
	B	31,83	44,00	10,11	20,61	34,20
	C	20,62	14,36	7,90	17,25	32,23
PPF (Hz)	M	1,66 ^{E,B,C}	0,26	1,46	1,71	1,92
	E	4,01 ^B	1,12	3,81	4,21	4,61
	B	2,28 ^C	0,94	1,46	2,01	3,27
SA ($m^2 \cdot s^{-4}$)	C	3,62	1,57	1,74	4,52	4,76
	M	336,29 ^{E,B,C}	154,68	225,47	319,65	411,58
	E	78,96 ^B	49,95	47,97	64,85	102,16
	B	170,35 ^C	182,15	86,75	139,61	184,07
	C	80,65	44,03	46,14	74,01	105,27

PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; M: mariposa; E: espalda; B: braza; C: crol; ^{E,B,C} $p < 0,01$ con respecto al estilo del superíndice; DT: desviación típica; P: percentil

4.2.2.2. Género Masculino:

Los descriptivos para las variables temporales de la aceleración por estilos, y sus diferencias por pares tras la prueba post-hoc de Bonferroni del género masculino en la dirección superior-inferior (Tabla 4.30), muestra diferencias para las variables RMS y MIN entre los pares de estilos de mariposa con los otros tres estilos, entre mariposa vs espalda, vs braza y vs crol. Para la variable MAX existen diferencias entre todos los pares de estilos, excepto entre espalda vs crol.

Tabla 4.30: Descriptivos del género masculino de las variables temporales de la aceleración para cada estilo en la dirección superior-inferior y sus diferencias

Variable	Estilo	Media	DT	P25	P50	P75
RMS (m·s ⁻²) ²	M	3,19 ^{E,B,C}	1,25	2,12	3,29	4,20
	E	1,84	0,42	1,51	1,68	2,07
	B	1,70	0,501	1,36	1,57	1,96
	C	1,88	0,38	1,52	1,85	2,16
MIN (m·s ⁻²)	M	-8,16 ^{E,B,C}	2,35	-9,91	-8,34	-5,93
	E	-6,22	1,32	-7,03	-6,03	-5,18
	B	-7,05	2,36	-8,25	-6,24	-5,37
	C	-6,32	1,48	-7,26	-6,17	-5,24
MAX (m·s ⁻²)	M	8,75 ^{E,B,C}	3,05	6,18	8,31	11,37
	E	6,18 _b	1,16	5,39	5,81	6,92
	B	7,04 ^C	1,60	5,47	6,91	8,69
	C	6,11	1,41	5,10	6,02	6,67

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; M: mariposa; E: espalda; B: braza; C: crol; ^{E,B,C} $p < 0,01$ con respecto al estilo del superíndice; _{e,b,c} $p < 0,05$ con respecto al estilo del subíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Los descriptivos para las variables temporales de la aceleración por estilos, y sus diferencias por pares tras la prueba post-hoc de Bonferroni del género masculino en la dirección medio-lateral (Tabla 4.31), muestra diferencias para la variable temporal RMS entre todos los pares de estilos. Para las variables MIN y MAX existen diferencias entre todos los pares de estilos, excepto entre mariposa vs braza.

Resultados

Tabla 4.31: Descriptivos del género masculino de las variables temporales de la aceleración para cada estilo en la dirección medio-lateral y sus diferencias

Variable	Estilo	Media	DT	P25	P50	P75
RMS (m·s ⁻²) ²	M	1,33 ^{E,B,C}	0,35	1,16	1,31	1,45
	E	3,17 ^{B,C}	0,10	2,56	3,14	3,76
	B	1,14 ^C	0,24	0,97	1,11	1,33
	C	5,41	1,39	4,49	5,18	6,10
MIN (m·s ⁻²)	M	-4,56 ^{E,C}	1,19	-5,40	-4,32	-3,66
	E	-9,07 ^{B,C}	2,75	-10,22	-9,03	-7,26
	B	-4,62 ^C	1,20	-5,31	-4,52	-3,83
	C	-15,01	3,84	-17,02	-13,81	-12,04
MAX (m·s ⁻²)	M	4,61 ^{E,C}	1,34	3,69	4,24	5,60
	E	9,35 ^{B,C}	2,72	7,30	9,21	10,38
	B	4,30 ^C	1,25	3,54	4,09	5,07
	C	14,63	3,97	11,39	13,86	17,24

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; M: mariposa; E: espalda; B: braza; C: crol; ^{E,B,C}p<0,01 con respecto al estilo del superíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Los descriptivos para las variables temporales de la aceleración por estilos, y sus diferencias por pares tras la prueba post-hoc de Bonferroni del género masculino en la dirección antero-posterior (Tabla 4.32), muestra diferencias para la variable temporal RMS entre los pares de estilos relacionados con la mariposa, mariposa vs espalda, vs braza y vs crol. Para la variable MIN existen tales diferencias entre todos los pares de estilos, excepto entre espalda vs crol. Para la variable MAX existen diferencias entre los siguientes pares de estilos, entre mariposa vs espalda, mariposa vs crol y espalda vs braza.

Tabla 4.32: Descriptivos del género masculino de las variables temporales de la aceleración para cada estilo en la dirección antero-posterior y sus diferencias

Variable	Estilo	Media	DT	P25	P50	P75
RMS (m·s ⁻²) ²	M	4,20 ^{E,B,C}	1,18	3,31	4,09	5,08
	E	2,63	0,87	1,89	2,60	3,23
	B	2,71	0,76	2,15	2,48	3,17
	C	2,87	0,94	2,14	2,61	3,46
MIN (m·s ⁻²)	M	-13,35 ^{b,E,C}	3,53	-15,41	-13,56	-10,31
	E	-8,46 ^B	2,59	-9,95	-8,28	-6,41
	B	-11,61 ^C	3,31	-14,14	-11,35	-8,71
	C	-8,85	2,68	-10,76	-8,92	-6,94
MAX (m·s ⁻²)	M	9,86 ^{E,C}	2,96	7,79	9,02	11,30
	E	7,46 ^B	2,21	5,44	7,87	8,97
	B	9,10	2,89	6,93	9,22	10,28
	C	8,02	2,88	5,60	7,42	9,94

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; M: mariposa; E: espalda; B: braza; C: crol; ^{E,B,C}p<0,01 con respecto al estilo del superíndice; ^{e,b,c}p<0,05 con respecto al estilo del subíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Los descriptivos para la variable InRMS de la aceleración por estilos, y sus diferencias por pares tras la prueba post-hoc de Bonferroni del género masculino de la aceleración (Tabla 4.33), muestra diferencias entre todos los pares de estilos.

Tabla 4.33: Descriptivos del género masculino para el InRMS de la aceleración para cada estilo y sus diferencias

Variable	Estilo	Media	DT	P25	P50	P75
InRMS	M (z/x)	1,42 ^{c,E,C}	0,44	1,13	1,33	1,54
	E (z/y)	0,86 ^{B,C}	0,24	0,66	0,88	1,02
	B (z/x)	1,63 ^C	0,32	1,41	1,60	1,86
	C (z/y)	0,54	0,17	0,42	0,51	0,67

InRMS: índice de RMS; M: mariposa; E: espalda; B: braza; C: crol; x: dirección superior-inferior; y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior; ^{E,B,C}p<0,01 con respecto al estilo del superíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Los descriptivos para las variables frecuenciales de la aceleración por estilos, y sus diferencias por pares tras la prueba post-hoc de Bonferroni del género masculino en la dirección superior-inferior (Tabla 4.34), muestra diferencias para las variables frecuenciales PP, PPF y SA entre los pares de estilos relacionados con el estilo mariposa, entre mariposa vs espalda, vs braza y vs crol. También aparecen dichas diferencias en la variable PPF entre el estilo espalda vs crol.

Resultados

Tabla 4.34: Descriptivos del género masculino de las variables frecuenciales de la aceleración para cada estilo en la dirección superior-inferior y sus diferencias

Variable	Estilo	Media	DT	P25	P50	P75
PP ($m^2 \cdot s^{-4}$)	M	117,95 ^{E,B,C}	97,32	35,75	97,70	182,13
	E	16,64	10,51	10,54	14,17	19,06
	B	14,52	13,29	6,55	9,11	17,50
	C	16,14	10,16	7,83	13,10	22,29
PPF (Hz)	M	1,76 ^{E,B,C}	0,47	1,46	1,83	1,95
	E	2,49 _c	0,87	1,59	2,81	3,30
	B	2,98	1,18	1,83	3,05	4,15
SA ($m^2 \cdot s^{-4}$)	C	3,43	2,03	1,71	3,30	4,88
	M	266,53 ^{E,B,C}	186,27	101,37	244,48	388,47
	E	84,26	38,67	55,36	70,48	106,32
	B	88,94	53,28	49,03	73,51	100,12
	C	88,96	37,48	57,73	83,58	106,94

PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; M: mariposa; E: espalda; B: braza; C: crol; ^{E,B,C} $p < 0,01$ con respecto al estilo del superíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Los descriptivos para las variables frecuenciales de la aceleración por estilos, y sus diferencias por pares tras la prueba post-hoc de Bonferroni del género masculino en la dirección medio-lateral (Tabla 4.35), muestra diferencias para las variables frecuenciales PP, PPF y SA entre todos los pares de estilos, excepto entre mariposa vs braza.

Tabla 4.35: Descriptivos del género masculino de las variables frecuenciales de la aceleración para cada estilo en la dirección medio-lateral y sus diferencias

Variable	Estilo	Media	DT	P25	P50	P75
PP ($m^2 \cdot s^{-4}$)	M	5,68 ^{E,C}	5,16	2,84	4,51	6,55
	E	84,00 ^{B,C}	79,84	34,67	47,77	109,80
	B	4,22 ^C	2,84	1,98	3,46	5,90
	C	258,32	191,34	134,24	199,66	277,33
PPF (Hz)	M	3,32 ^{E,C}	1,33	1,95	3,30	4,52
	E	2,37 _{b,c}	0,48	2,32	2,44	2,56
	B	3,13 ^C	1,49	1,95	2,81	4,15
SA ($m^2 \cdot s^{-4}$)	C	1,97	0,84	0,98	2,44	2,69
	M	46,20 ^{E,C}	27,86	32,54	41,03	52,43
	E	257,12 ^{B,C}	151,72	157,38	238,05	333,86
	B	34,96 ^C	14,86	23,54	30,50	44,53
	C	731,20	373,98	470,92	626,49	889,98

PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; M: mariposa; E: espalda; B: braza; C: crol; ^{E,B,C} $p < 0,01$ con respecto al estilo del superíndice; _{e,b,c} $p < 0,05$ con respecto al estilo del subíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Los descriptivos para las variables frecuenciales de la aceleración por estilos, y sus diferencias por pares tras la prueba post-hoc de Bonferroni del género masculino en la dirección antero-posterior (Tabla 4.36), muestra diferencias para las variables frecuenciales PP, PPF y SA entre los pares de estilos relacionados con el estilo mariposa, entre mariposa vs espalda, vs braza y vs crol. También aparecen dichas diferencias en la variable PPF entre los pares de estilos relacionados con la braza, entre braza vs espalda y vs crol, y en la variable SA entre espalda vs crol.

Tabla 4.36: Descriptivos del género masculino de las variables frecuenciales de la aceleración para cada estilo en la dirección antero-posterior y sus diferencias

Variable	Estilo	Media	DT	P25	P50	P75
PP (m ² ·s ⁻⁴)	M	170,32 ^{E,B,C}	119,76	75,22	136,67	247,38
	E	50,33	42,75	16,96	33,53	70,14
	B	39,30	30,17	18,74	28,13	48,46
	C	51,09	39,42	18,01	40,88	82,67
PPF (Hz)	M	1,73 ^{E,B,C}	0,33	1,59	1,83	1,95
	E	4,83 ^B	0,95	4,64	4,88	5,25
	B	2,30 ^C	0,88	1,59	2,08	2,81
SA (m ² ·s ⁻⁴)	C	4,39	1,57	2,32	5,13	5,49
	M	452,09 ^{E,B,C}	239,28	266,21	405,92	620,37
	E	172,15 _c	106,44	81,71	154,97	234,70
	B	223,51	120,96	129,20	182,68	301,84
	C	206,96	130,99	106,31	159,03	255,65

PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; M: mariposa; E: espalda; B: braza; C: crol; ^{E,B,C}p<0,01 con respecto al estilo del superíndice; _{e,b,c}p<0,05 con respecto al estilo del subíndice; DT: desviación típica; P: percentil

4.2.3 Diferencias género*estilos*variables de la aceleración

En este apartado se muestran las diferencias intra-sujeto de las variables de la aceleración temporal y frecuencial en cada estilo y en cada género.

4.2.3.1 Género femenino

Las Tablas 4.37, 4.38, 4.39 y 3.40 muestran los descriptivos de las variables temporales de los diferentes estilos de nado en el género femenino y qué diferencias se han encontrado entre las tres direcciones en cada variable temporal de la aceleración.

Resultados

Tabla 4.37: Descriptivos del género femenino de las variables temporales de la aceleración en mariposa y sus diferencias

Variable	Dirección	Media	DT	P25	P50	P75
RMS (m·s ⁻²) ²	x	2,37 ^{Y,Z}	0,79	1,81	2,2	2,86
	y	1,05 ^Z	0,32	0,89	0,98	1,12
	z	3,78	0,87	3,09	3,68	4,25
MIN (m·s ⁻²)	x	-6,56 ^{Y,Z}	2,15	-8,52	-6,26	-4,73
	y	-3,65 ^Z	0,95	-4,24	-3,5	-2,98
	z	-10,17	2,4	-11,92	-10,14	-8,39
MAX (m·s ⁻²)	x	6,24 ^{Y,Z}	1,96	4,96	5,85	7,12
	y	3,72 ^Z	1,12	3	3,66	4,14
	z	8,96	2,78	7,01	8,87	10,42

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; x: dirección superior-inferior; y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior; ^{X,Y,Z} p<0,01 con respecto a la dirección del superíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Tabla 4.38: Descriptivos del género femenino de las variables temporales de la aceleración en espalda y sus diferencias

Variable	Dirección	Media	DT	P25	P50	P75
RMS (m·s ⁻²) ²	x	1,56 ^Y	0,32	1,28	1,55	1,81
	y	2,56 ^Z	0,74	2,03	2,42	3,08
	z	1,78	0,58	1,4	1,67	2,08
MIN (m·s ⁻²)	x	-5,74 ^y	1,42	-6,85	-5,43	-4,52
	y	-7,24 ^z	2,02	-8,53	-6,9	-6,11
	z	-5,65	1,74	-6,95	-5,53	-4,45
MAX (m·s ⁻²)	x	5,52 ^Y	0,97	4,83	5,33	6,15
	y	7,57 ^Z	1,99	6,22	7,09	8,73
	z	5,03	1,17	4,18	4,92	5,79

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; x: dirección superior-inferior; y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior; ^{X,Y,Z} p<0,01 con respecto a la dirección del superíndice; _{x,y,z} p<0,05 con respecto a la dirección del subíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Tabla 4.39: Descriptivos del género femenino de las variables temporales de la aceleración en brazo y sus diferencias

Variable	Dirección	Media	DT	P25	P50	P75
RMS (m·s ⁻²) ²	x	1,38 ^{Y,Z}	0,56	1,08	1,25	1,5
	y	0,93 ^Z	0,2	0,81	0,91	1,07
	z	2,39	1,04	1,74	2,17	2,73
MIN (m·s ⁻²)	x	-5,57 ^{Y,Z}	1,49	-5,85	-5,34	-4,65
	y	-3,4 ^Z	0,81	-3,97	-3,3	-2,89
	z	-8,84	3,51	-10,34	-8,34	-6,68
MAX (m·s ⁻²)	x	5,67 ^{Y,Z}	1,53	4,53	5,31	6,93
	y	3,38 ^Z	1,02	2,64	3,19	4,05
	z	7,89	3,21	6,08	7,03	8,88

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; x: dirección superior-inferior; y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior; ^{X,Y,Z} p<0,01 con respecto a la dirección del superíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Tabla 4.40: Descriptivos del género femenino de las variables temporales de la aceleración en crol y sus diferencias

Variable	Dirección	Media	DT	P25	P50	P75
RMS (m·s ⁻²) ²	x	1,54 ^Y	0,31	1,39	1,49	1,73
	y	4,51 ^Z	1,27	3,71	4,42	4,88
	z	1,79	0,52	1,37	1,81	2,17
MIN (m·s ⁻²)	x	-5,45	1,1	-6,31	-5,24	-4,5
	y	-12,14	3,03	-14,61	-12,41	-9,33
	z	-5,8	1,76	-6,74	-5,56	-4,4
MAX (m·s ⁻²)	x	4,79	1,05	3,98	4,65	5,43
	y	11,88	3,3	9,36	11,52	12,76
	z	4,94	1,44	3,94	4,75	5,72

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; x: dirección superior-inferior; y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior; ^{x,y,z} p<0,01 con respecto a la dirección del superíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Las Tablas 4.41, 4.42, 4.43 y 4.44 muestran los descriptivos de las variables frecuenciales de la aceleración de los diferentes estilos de nado en el género femenino, y qué diferencias se han encontrado entre las tres direcciones en cada variable temporal de la aceleración.

Tabla 4.41: Descriptivos del género femenino de las variables frecuenciales de la aceleración en mariposa y sus diferencias

Variable	Dirección	Media	DT	P25	P50	P75
PP (m ² ·s ⁻⁴)	x	52,11 ^Z	41,99	21,76	38,17	76,39
	y	4,11 ^Z	4,47	1,73	2,96	5,33
	z	130,65	75,55	82,92	112,03	169,4
PPF (Hz)	x	1,68 ^Y	0,3	1,46	1,71	1,92
	y	3,37 ^Z	1,58	1,95	3,3	4,61
	z	1,66	0,26	1,46	1,71	1,92
SA (m ² ·s ⁻⁴)	x	144,45 _y	94,97	76,42	114,37	201,17
	y	29,98 ^Z	27,43	19,69	24,38	30,16
	z	336,29	154,68	225,47	319,65	411,58

PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; x: dirección superior-inferior, y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior; ^{x,y,z} p<0,01 con respecto a la dirección del superíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Resultados

Tabla 4.42: Descriptivos del género femenino de las variables frecuenciales de la aceleración en espalda y sus diferencias

Variable	Dirección	Media	DT	P25	P50	P75
PP (m ² ·s ⁻⁴)	x	11,98 _y	7,13	6,5	8,98	15,96
	y	56,55	42,51	19,62	45,52	75,05
	z	22,03	20,14	7,23	12,92	31,06
PPF (Hz)	x	2,89 ^{Y,Z}	0,9	2,47	2,87	3,63
	y	2,15 ^Z	0,24	1,95	2,14	2,29
	z	4,01	1,12	3,81	4,21	4,61
SA (m ² ·s ⁻⁴)	x	64,75 ^Y	26,08	44,79	61,36	83,31
	y	163,34 ^Z	91,12	100,3	134,62	218,56
	z	4,01	1,12	3,81	4,21	4,61

PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; x: dirección superior-inferior, y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior; ^{x,y,z} p<0,01 con respecto a la dirección del superíndice; _{x,y,z} p<0,05 con respecto a la dirección del subíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Tabla 4.43: Descriptivos del género femenino de las variables frecuenciales de la aceleración en brazo y sus diferencias

Variable	Dirección	Media	DT	P25	P50	P75
PP (m ² ·s ⁻⁴)	x	10,79 ^Z	18,04	3,64	6,89	11,01
	y	2,5 ^Z	1,69	1,14	2,16	3,59
	z	31,83	44	10,11	20,61	34,2
PPF (Hz)	x	2,36 _y	1	1,46	2,26	3,05
	y	3,59 ^Z	1,44	2,38	3,91	4,64
	z	2,28	0,94	1,46	2,01	3,27
SA (m ² ·s ⁻⁴)	x	59,8 _y ^Z	58,52	31,69	44,52	67,1
	y	22,6 ^Z	9,35	16,26	20,89	28,44
	z	170,35	182,15	86,75	139,61	184,07

PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; x: dirección superior-inferior, y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior; ^{x,y,z} p<0,01 con respecto a la dirección del superíndice; _{x,y,z} p<0,05 con respecto a la dirección del subíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Tabla 4.44: Descriptivos del género femenino de las variables frecuenciales de la aceleración en crol y sus diferencias

Variable	Dirección	Media	DT	P25	P50	P75
PP (m ² ·s ⁻⁴)	x	13,31 ^Y	8,2	8	12,42	16,05
	y	183,09 ^Z	151,6	83,24	152,31	223,98
	z	20,62	14,36	7,9	17,25	32,23
PPF (Hz)	x	3,15	1,62	1,59	2,62	4,64
	y	2,09 ^Z	0,61	2,01	2,32	2,44
	z	3,62	1,57	1,74	4,52	4,76
SA (m ² ·s ⁻⁴)	x	59,74 ^Y	22,87	45,28	55,12	74,28
	y	511,61 ^Z	304,45	342,35	457,77	545,16
	z	80,65	44,03	46,14	74,01	105,27

PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; x: dirección superior-inferior, y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior; ^{x,y,z} p<0,01 con respecto a la dirección del superíndice; DT: desviación típica; P: percentil

4.2.3.2 Género masculino

Las Tablas 4.45, 4.46, 4.47 y 4.48 muestran los descriptivos de las variables temporales de los diferentes estilos de nado en el género masculino, y qué diferencias se han encontrado entre las tres direcciones en cada variable temporal de la aceleración.

Tabla 4.45: Descriptivos del género masculino de las variables temporales de la aceleración en mariposa y sus diferencias

Variable	Dirección	Media	DT	P25	P50	P75
RMS (m·s ⁻²) ²	x	3,19 ^{Y,Z}	1,25	2,12	3,29	4,2
	y	1,33 ^Z	0,35	1,16	1,31	1,45
	z	4,2	1,18	3,31	4,09	5,08
MIN (m·s ⁻²)	x	-8,16 ^{Y,Z}	2,35	-9,91	-8,34	-5,93
	y	-4,56 ^Z	1,19	-5,4	-4,32	-3,66
	z	-13,35	3,53	-15,41	-13,56	-10,31
MAX (m·s ⁻²)	x	8,75 ^Y	3,05	6,18	8,31	11,37
	y	4,61 ^Z	1,34	3,69	4,24	5,6
	z	9,86	2,96	7,79	9,02	11,3

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; x: dirección superior-inferior; y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior; ^{X,Y,Z} p<0,01 con respecto a la dirección del superíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Tabla 4.46: Descriptivos del género masculino de las variables temporales de la aceleración en espalda y sus diferencias

Variable	Dirección	Media	DT	P25	P50	P75
RMS (m·s ⁻²) ²	x	1,84 ^{Y,Z}	0,42	1,51	1,68	2,07
	y	3,17 ^Z	0,1	2,56	3,14	3,76
	z	2,63	0,87	1,89	2,6	3,23
MIN (m·s ⁻²)	x	-6,22 ^{Y,Z}	1,32	-7,03	-6,03	-5,18
	y	-9,07	2,75	-10,22	-9,03	-7,26
	z	-8,46	2,59	-9,95	-8,28	-6,41
MAX (m·s ⁻²)	x	6,18 ^{Y,Z}	1,16	5,39	5,81	6,92
	y	9,35 ^Z	2,72	7,3	9,21	10,38
	z	7,46	2,21	5,44	7,87	8,97

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; x: dirección superior-inferior; y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior; ^{X,Y,Z} p<0,01 con respecto a la dirección del superíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Resultados

Tabla 4.47 Descriptivos del género masculino de las variables temporales de la aceleración en braza y sus diferencias

Variable	Dirección	Media	DT	P25	P50	P75
RMS (m·s ⁻²) ²	x	1,7 ^{Y,Z}	0,501	1,36	1,57	1,96
	y	1,14 ^Z	0,24	0,97	1,11	1,33
	z	2,71	0,76	2,15	2,48	3,17
MIN (m·s ⁻²)	x	-7,05 ^{Y,Z}	2,36	-8,25	-6,24	-5,37
	y	-4,62 ^Z	1,2	-5,31	-4,52	-3,83
	z	-11,61	3,31	-14,14	-11,35	-8,71
MAX (m·s ⁻²)	x	7,04 ^{Y,Z}	1,6	5,47	6,91	8,69
	y	4,3 ^Z	1,25	3,54	4,09	5,07
	z	9,1	2,89	6,93	9,22	10,28

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; x: dirección superior-inferior; y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior; ^{x,y,z} p<0,01 con respecto a la dirección del superíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Tabla 4.48: Descriptivos del género masculino de las variables temporales de la aceleración en crol y sus diferencias

Variable	Dirección	Media	DT	P25	P50	P75
RMS (m·s ⁻²) ²	x	1,88 ^{Y,Z}	0,38	1,52	1,85	2,16
	y	5,41 ^Z	1,39	4,49	5,18	6,1
	z	2,87	0,94	2,14	2,61	3,46
MIN (m·s ⁻²)	x	-6,32 ^{Y,Z}	1,48	-7,26	-6,17	-5,24
	y	-15,01 ^Z	3,84	-17,02	-13,81	-12,04
	z	-8,85	2,68	-10,76	-8,92	-6,94
MAX (m·s ⁻²)	x	6,11 ^{Y,Z}	1,41	5,1	6,02	6,67
	y	14,63 ^Z	3,97	11,39	13,86	17,24
	z	8,02	2,88	5,6	7,42	9,94

RMS: root mean square; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; x: dirección superior-inferior; y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior; ^{x,y,z} p<0,01 con respecto a la dirección del superíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Las Tablas 4.49, 4.50, 4.51 y 4.52 muestran los descriptivos de las variables frecuenciales de los diferentes estilos de nado en el género masculino, y qué diferencias se han encontrado entre las tres direcciones en cada variable frecuencial de la aceleración.

Tabla 4.49: Descriptivos del género masculino de las variables frecuenciales de la aceleración en mariposa y sus diferencias

Variable	Dirección	Media	DT	P25	P50	P75
PP (m ² ·s ⁻⁴)	x	117,95 ^{Y,Z}	97,32	35,75	97,7	182,13
	y	5,68 ^Z	5,16	2,84	4,51	6,55
	z	170,32	119,76	75,22	136,67	247,38
PPF (Hz)	x	1,76 ^Y	0,47	1,46	1,83	1,95
	y	3,32 ^Z	1,33	1,95	3,3	4,52
	z	1,73	0,33	1,59	1,83	1,95
SA (m ² ·s ⁻⁴)	x	266,53 ^{Y,Z}	186,27	101,37	244,48	388,47
	y	46,20 ^Z	27,86	32,54	41,03	52,43
	z	452,09	239,28	266,21	405,92	620,37

PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; x: dirección superior-inferior, y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior; ^{X,Y,Z} p<0,01 con respecto a la dirección del superíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Tabla 4.50: Descriptivos del género masculino de las variables frecuenciales de la aceleración en espalda y sus diferencias

Variable	Dirección	Media	DT	P25	P50	P75
PP (m ² ·s ⁻⁴)	x	16,64 ^{Y,Z}	10,51	10,54	14,17	19,06
	y	84,00 ^Z	79,84	34,67	47,77	109,8
	z	50,33	42,75	16,96	33,53	70,14
PPF (Hz)	x	2,49 ^Z	0,87	1,59	2,81	3,3
	y	2,37 ^Z	0,48	2,32	2,44	2,56
	z	4,83	0,95	4,64	4,88	5,25
SA (m ² ·s ⁻⁴)	x	84,26 ^{Y,Z}	38,67	55,36	70,48	106,32
	y	257,12 ^Z	151,72	157,38	238,05	333,86
	z	172,15	106,44	81,71	154,97	234,7

PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; x: dirección superior-inferior, y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior; ^{X,Y,Z} p<0,01 con respecto a la dirección del superíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Tabla 4.51: Descriptivos del género masculino de las variables frecuenciales de la aceleración en braza y sus diferencias

Variable	Dirección	Media	DT	P25	P50	P75
PP (m ² ·s ⁻⁴)	x	14,52 ^{Y,Z}	13,29	6,55	9,11	17,5
	y	4,22 ^Z	2,84	1,98	3,46	5,9
	z	39,3	30,17	18,74	28,13	48,46
PPF (Hz)	x	2,98	1,18	1,83	3,05	4,15
	y	3,13	1,49	1,95	2,81	4,15
	z	2,30	0,88	1,59	2,08	2,81
SA (m ² ·s ⁻⁴)	x	88,94 ^{Y,Z}	53,28	49,03	73,51	100,12
	y	34,96 ^Z	14,86	23,54	30,5	44,53
	z	223,51	120,96	129,2	182,68	301,84

PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; x: dirección superior-inferior, y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior; ^{X,Y,Z} p<0,01 con respecto a la dirección del superíndice; _{x,y,z} p<0,05 con respecto a la dirección del subíndice; DT: desviación típica; P: percentil

Resultados

Tabla 4.52: Descriptivos del género masculino de las variables frecuenciales de la aceleración en crol y sus diferencias

Variable	Dirección	Media	DT	P25	P50	P75
PP (m ² ·s ⁻⁴)	x	16,14 ^{Y,Z}	10,16	7,83	13,1	22,29
	y	258,32 ^Z	191,34	134,24	199,66	277,33
	z	51,09	39,42	18,01	40,88	82,67
PPF (Hz)	x	3,43 _y	2,03	1,71	3,3	4,88
	y	1,97 ^Z	0,84	0,98	2,44	2,69
	z	4,39	1,57	2,32	5,13	5,49
SA (m ² ·s ⁻⁴)	x	88,96 ^{Y,Z}	37,48	57,73	83,58	106,94
	y	731,2 ^Z	373,98	470,92	626,49	889,98
	z	206,96	130,99	106,31	159,03	255,65

PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; x: dirección superior-inferior, y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior; ^{x,y,z} p<0,01 con respecto a la dirección del superíndice; _{x,y,z} p<0,05 con respecto a la dirección del subíndice; DT: desviación típica; P: percentil

4.3. Relación de las variables cíclicas de nado con las variables temporales y frecuenciales de la aceleración

Las relaciones en cada género y estilo, entre las variables cíclicas de nado con las variables temporales y frecuenciales de la aceleración en cada una de las direcciones, se muestran en los siguientes subapartados.

4.3.1. Relación entre las variables cíclicas y las variables temporales de la aceleración

En el estilo mariposa para ambos géneros, el coeficiente de Spearman muestra la relación entre las variables cíclicas de nado y las variables temporales de la aceleración (Tabla 4.53).

Tabla 4.53: Relación entre las variables cíclicas de nado y las variables temporales de la aceleración en el estilo mariposa

VC	G	RMSx	RMSy	RMSz	lnRMS	MINx	MINy	MINz	MAXx	MAXy	MAXz
V	f	0,71**	0,15	0,73**	-0,40**	-0,38*	0,04	-0,41*	0,61**	-0,08	0,47**
	m	0,66**	0,44**	0,70**	-0,32*	-0,46**	-0,37*	-0,63**	0,71**	0,17	0,52**
FC	f	0,58**	0,66	0,62**	-0,36*	-0,21	0,08	-0,30	0,53**	-0,12	0,55**
	m	0,64**	0,45**	0,67**	-0,36*	-0,44**	-0,24	-0,64**	0,61**	0,12	0,62**
LC	f	-0,28	0,60	-0,29	0,26	-0,03	-0,63	0,11	-0,33*	0,22	-0,35*
	m	-0,36*	-0,31	-0,42**	0,23	0,29	0,02	0,37*	-0,28	-0,11	-0,38*

VC: variables cíclicas de nado; V: velocidad; FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; G: género; f: género femenino; m: género masculino; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; RMS: root mean square; lnRMS: índice del RMS; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; x: dirección superior-inferior; y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior

En el estilo espalda para ambos géneros, el coeficiente de Spearman muestra la relación entre las variables cíclicas de nado y las variables temporales de la aceleración (Tabla 4.54).

Tabla 4.54: Relación entre las variables cíclicas de nado y las variables temporales de la aceleración en el estilo espalda

VC	G	RMSx	RMSy	RMSz	lnRMS	MINx	MINy	MINz	MAXx	MAXy	MAXz
V	f	0,32	0,55**	0,21	-0,24	-0,29	-0,52**	-0,30	0,18	0,40*	0,26
	m	0,29	0,34*	0,39*	0,08	-0,05	-0,36*	-0,35*	0,12	0,33*	0,35*
FC	f	0,54**	0,81**	0,38*	-0,34*	-0,42*	-0,71**	-0,48**	0,37*	0,62**	0,38*
	m	0,48**	0,51**	0,49**	-0,14	-0,41**	-0,43**	-0,39*	0,51**	0,54**	0,37*
LC	f	-0,26	-0,38*	-0,24	0,13	0,23	0,29	0,22	-0,30	-0,34*	-0,18
	m	-0,13	-0,05	-0,07	0,11	0,24	-0,01	0,02	-0,28	-0,06	-0,08

VC: variables cíclicas de nado; V: velocidad; FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; G: género; f: género femenino; m: género masculino; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; RMS: root mean square; lnRMS: índice del RMS; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; x: dirección superior-inferior; y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior

En el estilo braza para ambos géneros, el coeficiente de Spearman muestra la relación entre las variables cíclicas de nado y las variables temporales de la aceleración (Tabla 4.55).

Resultados

Tabla 4.55: Relación entre las variables cíclicas de nado y las variables temporales de la aceleración en el estilo braza

VC	G	RMSx	RMSy	RMSz	lnRMS	MINx	MINy	MINz	MAXx	MAXy	MAXz
V	f	0,75**	0,39*	0,66**	0,03	-0,14	-0,14	-0,30	0,21	0,27	0,52**
	m	0,66**	0,28	0,72**	0,02	-0,47**	-0,11	-0,50**	0,34*	0,07	0,38*
FC	f	0,37*	0,36*	0,50**	0,26	0,24	-0,20	-0,21	0,17	0,32	0,31
	m	0,32*	0,33*	0,57**	0,30	-0,04	-0,16	-0,28	0,01	0,19	0,25
LC	f	-0,00	-0,18	-0,22	-0,33*	-0,30	0,15	0,14	-0,13	-0,15	-0,12
	m	0,20	-0,14	-0,04	-0,34*	-0,29	0,11	-0,09	0,24	-0,12	-0,01

VC: variables cíclicas de nado; V: velocidad; FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; G: género; f: género femenino; m: género masculino; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; RMS: root mean square; lnRMS: índice del RMS; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; x: dirección superior-inferior; y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior

En el estilo crol para ambos géneros, el coeficiente de Spearman muestra la relación entre las variables cíclicas de nado y las variables temporales de la aceleración (Tabla 4.56).

Tabla 4.56: Relación entre las variables cíclicas de nado y las variables temporales de la aceleración en el estilo crol

VC	G	RMSx	RMSy	RMSz	lnRMS	MINx	MINy	MINz	MAXx	MAXy	MAXz
V	f	0,26	0,29	0,13	-0,19	-0,25	-0,18	-0,21	0,23	0,29	-0,04
	m	0,40*	0,34*	0,67**	0,49**	-0,17	-0,25	-0,53**	0,27	0,47**	0,65**
FC	f	0,46**	0,50**	0,49**	-0,06	-0,43**	-0,53**	-0,34*	0,54**	0,49**	0,49**
	m	0,40*	0,41**	0,46**	0,18	-0,00	-0,52**	-0,32*	0,35*	0,30	0,48**
LC	f	-0,27	-0,22	-0,32	-0,08	0,17	0,37*	0,10	-0,32	-0,26	-0,46**
	m	0,10	0,02	0,26	0,32*	-0,19	0,11	-0,23	-0,02	0,16	0,22

VC: variables cíclicas de nado; V: velocidad; FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; G: género; f: género femenino; m: género masculino; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; RMS: root mean square; lnRMS: índice del RMS; MIN: valor mínimo de la aceleración; MAX: valor máximo de la aceleración; x: dirección superior-inferior; y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior

4.3.2. Relación entre las variables cíclicas y las variables frecuenciales de la aceleración

En el estilo mariposa para ambos géneros, el coeficiente de Spearman muestra la relación entre las variables cíclicas de nado y las variables frecuenciales de la aceleración (Tabla 4.57).

Tabla 4.57: Relación entre las variables cíclicas de nado y las variables frecuenciales de la aceleración en el estilo mariposa

VC	G	PPx	PPy	PPz	PPFx	PPFy	PPFz	SAx	SAy	SAz
V	f	0,64**	0,29	0,65**	0,63**	0,03	0,66**	0,70**	0,12	0,70**
	m	0,64**	0,37*	0,69**	0,58**	-0,01	0,52**	0,66**	0,41**	0,70**
FC	f	0,50**	0,32	0,47**	0,88**	0,01	0,90**	0,53**	0,01	0,61**
	m	0,62**	0,52**	0,66**	0,92**	0,11	-0,85**	0,63**	0,39*	0,70**
LC	f	-0,23	-0,19	-0,13	-0,76**	0,05	-0,76**	-0,22	0,11	-0,30
	m	-0,33*	-0,47**	-0,35*	-0,79**	-0,26	-0,70**	-0,35*	-0,24	-0,44**

VC: variables cíclicas de nado; V: velocidad; FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; G: género; f: género femenino; m: género masculino; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; x: dirección superior-inferior; y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior

En el estilo espalda para ambos géneros, el coeficiente de Spearman muestra la relación entre las variables cíclicas de nado y las variables frecuenciales de la aceleración (Tabla 4.58).

Tabla 4.58: Relación entre las variables cíclicas de nado y las variables frecuenciales de la aceleración en el estilo espalda

VC	G	PPx	PPy	PPz	PPFx	PPFy	PPFz	SAx	SAy	SAz
V	f	0,18	0,54**	0,24	0,09	0,44**	0,20	0,31	0,55**	0,21
	m	0,16	0,18	0,28	0,42**	0,14	0,15	0,24	0,35*	0,40*
FC	f	0,31	0,77**	0,36*	-0,06	0,92**	0,78**	0,49**	0,82**	0,41*
	m	0,36*	0,40*	0,36*	0,38*	0,64**	0,59**	0,45**	0,51**	0,43**
LC	f	-0,17	-0,36*	-0,21	0,13	-0,58**	-0,58**	-0,20	-0,39*	-0,26
	m	-0,18	-0,11	-0,05	0,17	-0,35*	-0,38*	-0,16	-0,03	-0,03

VC: variables cíclicas de nado; V: velocidad; FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; G: género; f: género femenino; m: género masculino; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; x: dirección superior-inferior; y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior

En el estilo braza para ambos géneros, el coeficiente de Spearman muestra la relación entre las variables cíclicas de nado y las variables frecuenciales de la aceleración (Tabla 4.59).

Resultados

Tabla 4.59: Relación entre las variables cíclicas de nado y las variables frecuenciales de la aceleración en el estilo braza

VC	G	PPx	PPy	PPz	PPFx	PPFy	PPFz	SAx	SAy	SAz
V	f	0,74**	0,31	0,59**	0,11	0,12	0,22	0,68**	0,32	0,62**
	m	0,66**	0,18	0,74**	0,10	-0,06	0,21	0,63**	0,23	0,65**
FC	f	0,47**	0,28	0,52**	0,06	-0,00	0,07	0,36*	0,29	0,44**
	m	0,34*	0,25	0,54**	0,62**	-0,20	0,16	0,22	0,30	0,49**
LC	f	-0,10	-0,10	-0,28	-0,06	0,09	0,09	-0,04	-0,15	-0,18
	m	0,19	-0,11	0,01	0,56**	-0,17	-0,00	0,26	-0,14	-0,02

VC: variables cíclicas de nado; V: velocidad; FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; G: género; f: género femenino; m: género masculino; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; x: dirección superior-inferior; y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior

En el estilo crol para ambos géneros, el coeficiente de Spearman muestra la relación entre las variables cíclicas de nado y las variables frecuenciales de la aceleración (Tabla 4.60).

Tabla 4.60: Relación entre las variables cíclicas de nado y las variables frecuenciales de la aceleración en el estilo crol

VC	G	PPx	PPy	PPz	PPFx	PPFy	PPFz	SAx	SAy	SAz
V	f	0,25	0,30	0,18	0,15	0,13	0,11	0,30	0,28	0,11
	m	0,14	0,28	0,55**	0,42**	0,34*	0,55**	0,36*	0,34*	0,65**
FC	f	0,18	0,42*	0,44**	0,46**	0,17	0,17	0,50**	0,56**	0,48**
	m	0,28	0,32*	0,47**	0,29	-0,16	0,40*	0,35*	0,45**	0,44**
LC	f	-0,09	-0,16	-0,24	-0,27	-0,08	0,01	-0,26	-0,29	-0,32
	m	-0,05	0,04	0,18	0,14	0,17	0,20	0,09	-0,01	0,26

VC: variables cíclicas de nado; V: velocidad; FC: frecuencia de ciclo; LC: longitud de ciclo; G: género; f: género femenino; m: género masculino; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; PP: power peak; PPF: power peak frequency; SA: spectral area; x: dirección superior-inferior; y: dirección medio-lateral; z: dirección antero-posterior

4.4. Regresión lineal múltiple por estilo y género de la aceleración en función de las variables cíclicas de nado

Las regresiones lineales múltiples se han realizado considerando a la velocidad como variable dependiente, y como variables predictoras a

las variables RMS y PPF en las tres direcciones, además de la variable InRMS. Se ha descartado introducir en el análisis el resto de variables de la aceleración al encontrar colinealidad con las seleccionadas. De esta manera, se ha analizado una regresión lineal múltiple para la velocidad para cada estilo y género.

En los siguientes subapartados se muestran los resultados obtenidos para cada estilo.

4.4.1. Regresión lineal múltiple de la velocidad para el estilo mariposa

En el estilo mariposa el análisis de regresión lineal múltiple mostró para las nadadoras la existencia de una relación entre la velocidad y las variables predictoras que viene explicada por la ecuación:

$$Y = 0,505 + 0,259 \cdot X_1 + 0,073 \cdot X_2$$

donde Y es la velocidad, X_1 es PPF en la dirección antero-posterior y X_2 es RMS en la dirección antero-posterior.

El coeficiente de determinación fue de 0,583 y el error cuadrático medio de 0,0091. La Tabla 4.61 muestra sus coeficientes y los valores de probabilidad.

Tabla 4.61: Regresión lineal múltiple de la velocidad en el estilo mariposa en el género femenino. Coeficientes estandarizados y valores de probabilidad

	B no estandarizado	SE B no estandarizado	B estandarizado
Constante	0,505	0,109	
PPF _z	0,259	0,074	0,457*
RMS _z	0,073	0,023	0,420*

PPF_z: power peak frequency en la dirección antero-posterior, RMS_z: root mean square en la dirección antero-posterior; B: coeficiente, SE: error estándar; *p<0,05

En el estilo mariposa el análisis de regresión lineal múltiple mostró para los nadadores la existencia de una relación entre la velocidad y las variables predictoras que viene explicada por la ecuación:

$$Y = 0,713 + 0,1 \cdot X_1 + 0,12 \cdot X_2$$

donde Y es la velocidad, X_1 es RMS en la dirección antero-posterior y X_2 es PPF en la dirección superior-inferior.

Resultados

El coeficiente de determinación fue de 0,570 y el error cuadrático medio de 0,0160. La Tabla 4.62 muestra sus coeficientes y los valores de probabilidad.

Tabla 4.62: Regresión lineal múltiple de la velocidad en el estilo mariposa en el género masculino. Coeficientes estandarizados y valores de probabilidad

	B no estandarizado	SE B no estandarizado	B estandarizado
Constante	0,713	0,098	
RMS _z	0,100	0,019	0,607*
PPF _x	0,120	0,048	0,290*

*RMS_z: root mean square en la dirección antero-posterior; PPF_z: power peak frequency en la dirección superior-inferior, B: coeficiente, SE: error estándar; *p<0,05*

4.4.2. Regresión lineal múltiple de la velocidad para el estilo espalda

En el estilo espalda el análisis de regresión lineal múltiple mostró para las nadadoras la existencia de una relación entre la velocidad y las variables predictoras que viene explicada por la ecuación:

$$Y = 1,051 + 0,063 \cdot X_1$$

donde Y es la velocidad y X₁ es RMS en la dirección medio-lateral.

El coeficiente de determinación fue de 0,221 y el error cuadrático medio de 0,0075. La Tabla 4.63 muestra sus coeficientes y los valores de probabilidad.

Tabla 4.63: Regresión lineal múltiple de la velocidad en el estilo espalda en el género femenino. Coeficientes estandarizados y valores de probabilidad

	B no estandarizado	SE B no estandarizado	B estandarizado
Constante	1,051	0,054	
RMS _y	0,063	0,020	0,470*

*RMS_y: root mean square en la dirección medio-lateral; B: coeficiente, SE: error estándar; *p<0,05*

En el estilo espalda el análisis de regresión lineal múltiple mostró para los nadadores la existencia de una relación entre la velocidad y las variables predictoras que viene explicada por la ecuación:

$$Y = 1,134 + 0,086 \cdot X_1$$

donde Y es la velocidad, X₁ es PPF en la dirección superior-inferior.

El coeficiente de determinación fue de 0,210 y el error cuadrático medio de 0,0207. La Tabla 4.64 muestra sus coeficientes y los valores de probabilidad.

Tabla 4.64: Regresión lineal múltiple de la velocidad en el estilo espalda en el género masculino. Coeficientes estandarizados y valores de probabilidad

	B no estandarizado	SE B no estandarizado	B estandarizado
Constante	1,134	0,072	
PPF _x	0,086	0,028	0,458*

PPF_x: power peak frequency en la dirección superior-inferior; B: coeficiente, SE: error estándar; *p<0,05

4.4.3. Regresión lineal múltiple de la velocidad para el estilo braza

En el estilo braza el análisis de regresión lineal múltiple mostró para las nadadoras la existencia de una relación entre la velocidad y las variables predictoras que viene explicada por la ecuación:

$$Y = 0,864 + 0,1 \cdot X_1$$

donde Y es la velocidad y X₁ es RMS en la dirección superior-inferior.

El coeficiente de determinación fue de 0,336 y el error cuadrático medio de 0,0061. La Tabla 4.65 muestra sus coeficientes y los valores de probabilidad.

Tabla 4.65: Regresión lineal múltiple de la velocidad en el estilo braza en el género femenino. Coeficientes estandarizados y valores de probabilidad

	B no estandarizado	SE B no estandarizado	B estandarizado
Constante	0,864	0,036	
RMS _x	0,100	0,024	0,580*

RMS_x: root mean square en la dirección superior-inferior; B: coeficiente, SE: error estándar; *p<0,05

En el estilo braza el análisis de regresión lineal múltiple mostró para los nadadores la existencia de una relación entre la velocidad y las variables predictoras que viene explicada por la ecuación:

$$Y = 0,804 + 0,115 \cdot X_1$$

donde Y es la velocidad y X₁ es RMS en la dirección antero-posterior.

Resultados

El coeficiente de determinación fue de 0,415 y el error cuadrático medio de 0,0105. La Tabla 4.66 muestra sus coeficientes y los valores de probabilidad.

Tabla 4.66: Regresión lineal múltiple de la velocidad en el estilo braza en el género masculino. Coeficientes estandarizados y valores de probabilidad

	B no estandarizado	SE B no estandarizado	B estandarizado
Constante	0,804	0,063	
RMS _z	0,115	0,022	0,644*

*RMS_z: root mean square en la dirección antero-posterior; B: coeficiente, SE: error estándar; *p<0,05*

4.4.4. Regresión lineal múltiple de la velocidad para el estilo crol

En el estilo crol el análisis de regresión lineal múltiple no mostró para las nadadoras existencia de una relación entre la velocidad y las variables predictoras.

En los nadadores de crol el análisis de regresión lineal múltiple mostró una relación entre la velocidad y las variables predictoras que viene explicada por la ecuación:

$$Y = 1,126 + 0,134 \cdot X_1$$

donde Y es la velocidad y X₁ es RMS en la dirección antero-posterior.

El coeficiente de determinación fue de 0,441 y el error cuadrático medio de 0,0197. La Tabla 4.67 muestra sus coeficientes y los valores de probabilidad.

Tabla 4.67: Regresión lineal múltiple de la velocidad en el estilo crol en el género masculino. Coeficientes estandarizados y valores de probabilidad

	B no estandarizado	SE B no estandarizado	B estandarizado
Constante	1,126	0,075	
RMS _z	0,134	0,025	0,664*

*RMS_z: root mean square en la dirección antero-posterior; B: coeficiente, SE: error estándar; *p<0,05*

4.5. Asociación tipo de espectro y estilo de nado

Para analizar la asociación entre tipo de espectro y estilo de nado, se han agrupado los diferentes espectros en cuatro grupos, atendiendo (i) a los espectros con un solo pico de potencia, (ii) a los espectros con dos picos de potencia, (iii) a los espectros con más de dos picos de potencia y (iv) a los espectros con un patrón indefinido. En la Figura 4.5 se puede observar un ejemplo de cada tipo de espectro en el estilo crol.

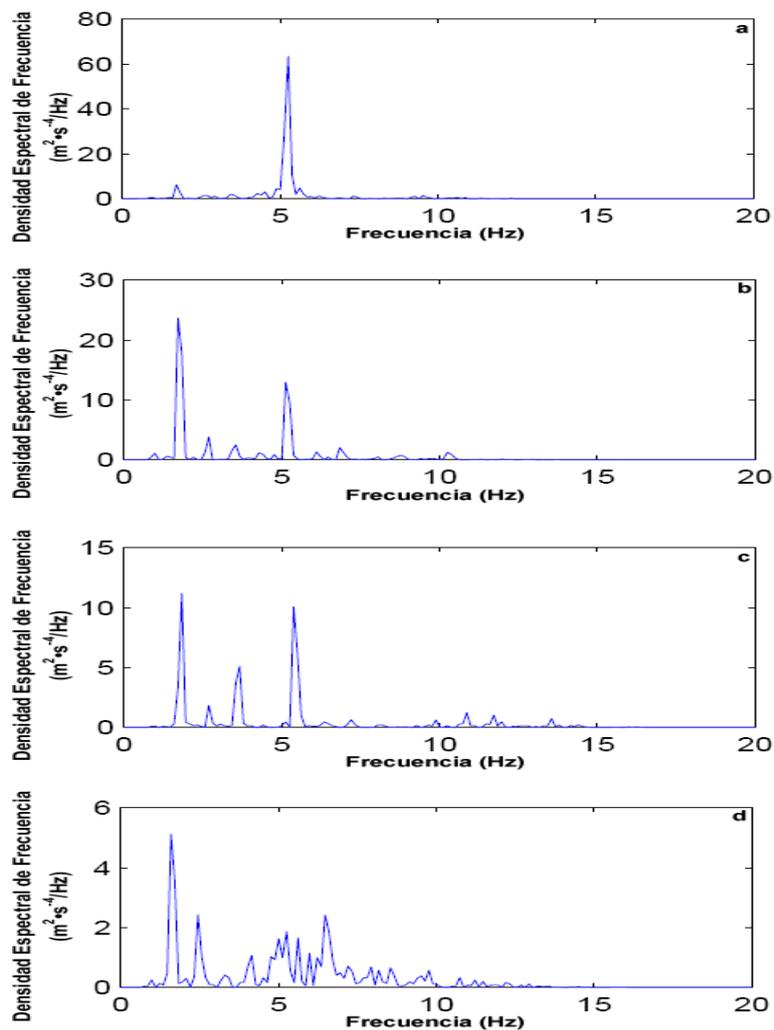


Figura 4.5: Ejemplo de los cuatro tipos de espectro seleccionados para este estudio en el estilo crol (a: espectro de un solo pico; b: espectro de dos picos; c: espectro de más de dos picos; d: espectro indefinido)

Resultados

Se han realizado tablas de contingencia (Tablas 4.68 y 4.69) y calculado la asociación entre las variables tipo de espectro y estilo de nado.

Con respecto a la asociación de las variables descritas en la Tabla 4.68 existe una asociación entre el tipo de espectro y los estilos de nado en el género femenino $\chi^2(9) = 73.647$, $p < 0.05$. Además, esta asociación presenta una intensidad moderada y directamente proporcional (v de Cramer = 0.295, $p < 0,05$).

Tabla 4.68: Tabla de contingencia de tipo de espectro en función del estilo para el género femenino

Estilo		Tipo de espectro			
		1 pico	2 picos	> 2 picos	indefinido
M	n	15	6	11	4
	%	41,70%	16,70%	30,60%	11,10%
E	n	11	2	18	5
	%	30,60%	5,60%	50,00%	13,90%
B	n	1	2	27	6
	%	2,80%	5,60%	75,00%	16,70%
C	n	5	11	11	9
	%	13,90%	30,60%	30,60%	25,00%

M: mariposa; E: espalda; B: braza; C: crol; n: número de sujetos

Con respecto a la asociación de las variables descritas en la Tabla 4.69 existe una asociación estadísticamente significativa entre el tipo de espectro y los estilos de nado en el género masculino $\chi^2(9) = 37.575$, $p < 0.05$. Además, esta asociación presenta una intensidad moderada y directamente proporcional (v de Cramer = 0.397, $p < 0,05$)

Tabla 4.69: Tabla de contingencia de tipo de espectro en función del estilo para el género masculino

Estilo		Tipo de espectro			
		1 pico	2 picos	> 2 picos	indefinido
M	N	16	7	12	4
	%	41,00%	17,90%	30,80%	10,30%
E	n	18	3	5	13
	%	46,20%	7,70%	12,80%	33,30%
B	n	1	0	34	4
	%	2,60%	0,00%	87,20%	10,30%
C	n	7	11	9	12
	%	17,90%	28,20%	23,10%	30,80%

M: mariposa; E: espalda; B: braza; C: crol; n: número de sujetos

También se han realizado tablas de contingencia con las variables estilo de nado y género (Tablas 4.70, 4.71, 4.72 y 4.73). La asociación entre estas dos variables a través de la prueba χ^2 muestra que son independientes ($p>0.05$).

Tabla 4.70: Tabla de contingencia de tipo de espectro en función del género en el estilo mariposa

Género		Tipo de espectro			
		1 pico	2 picos	> 2 picos	indefinido
f	n	15	6	11	4
	%	41,70%	16,90%	30,60%	11,10%
m	n	16	7	12	4
	%	41,00%	17,90%	30,80%	10,30%

f: género femenino; m: género masculino; n: número de sujetos

Tabla 4.71: Tabla de contingencia de tipo de espectro en función del género en el estilo espalda

Género		Tipo de espectro			
		1 pico	2 picos	> 2 picos	indefinido
f	n	11	2	18	5
	%	30,60%	5,60%	50,00%	13,90%
m	n	18	3	5	13
	%	46,20%	7,70%	12,80%	33,30%

f: género femenino; m: género masculino; n: número de sujetos

Tabla 4.72: Tabla de contingencia de tipo de espectro en función del género en el estilo braza

Género		Tipo de espectro			
		1 pico	2 picos	> 2 picos	indefinido
f	n	1	2	27	6
	%	2,80%	5,60%	75,00%	16,70%
m	n	1	0	34	4
	%	2,60%	0,00%	87,20%	10,30%

f: género femenino; m: género masculino; n: número de sujetos

Resultados

Tabla 4.73: Tabla de contingencia de tipo de espectro en función del género en el estilo crol

Género		Tipo de espectro			
		1 pico	2 picos	> 2 picos	indefinido
f	n	5	11	11	9
	%	13,90%	30,60%	30,60%	25,00%
m	n	7	11	9	12
	%	17,90%	28,20%	23,10%	30,80%

f: género femenino; m: género masculino; n: número de sujetos

DISCUSIÓN

5. DISCUSIÓN

Esta tesis presenta por primera vez la caracterización de la aceleración resultante en 3D de las acciones de nado en los cuatro estilos de nado.

Así, con respecto al género, los nadadores de mariposa y crol se caracterizan por producir mayor aceleración en el dominio temporal y son más eficientes en sus aceleraciones en la dirección antero-posterior que las nadadoras. En espalda, también las variables frecuenciales caracterizan a los nadadores al producir con mayor frecuencia las principales aceleraciones, sin embargo en braza la eficiencia de las aceleraciones no caracteriza a este estilo en función el género.

Otro de los hallazgos de esta tesis es describir cómo gestionan los estilos la aceleración en el dominio temporal y frecuencial. Así, tanto en el género masculino como en el femenino, la RMS en mariposa es el estilo de nado que realiza una mayor producción en la dirección superior-inferior y antero-posterior, y los estilos espalda y crol son los estilos que mayor producción realizan en la dirección medio-lateral. Con respecto a la eficacia propulsiva, los estilos braza y mariposa presentan índices de eficacia similares de la aceleración en la dirección antero-posterior con respecto a la superior-inferior, y la espalda es más eficiente que el crol al relacionar las aceleraciones en la dirección antero-posterior con las de la dirección medio-lateral (InRMS). En el dominio frecuencial, el estilo mariposa es el estilo que menores valores frecuenciales presenta de la aceleración en las direcciones superior-inferior y antero-posterior, mientras que para el estilo crol y para el estilo espalda, esto sucede en la dirección medio-lateral.

Otra aportación subyace del análisis realizado en las diferentes direcciones de la aceleración en cada estilo. En general, la mayor producción de la aceleración y a la mayor frecuencia, se realizan en la dirección antero-posterior en los estilos mariposa y braza. En el estilo espalda y crol, la mayor producción es en la dirección medio-lateral y la mayor frecuencia (PPF) se produce en la dirección antero-posterior.

Un análisis importante de este estudio se ha realizado para conocer la relación que tienen estas variables con la velocidad de nado. En general, las variables temporales y/o frecuenciales tienen una relación de intensidad media o alta, pero destaca que el género femenino en el estilo crol no presente ningún tipo de relación de estas variables con la velocidad de nado.

Para determinar que variables tienen una mayor capacidad de predicción sobre la velocidad de nado se ha realizado un análisis de regresión lineal múltiple, que ha puesto de relieve la importancia de las variables PPF_z y RMS_z para el género femenino, y las variables RMS_z y PPF_x para el género masculino en el estilo mariposa; la variable RMS_y para el género femenino, y la variable PPF_x para el género masculino en el estilo espalda; la variable RMS_x para el género femenino, y la variable RMS_z para el género masculino en el estilo braza; y la variable RMS_z para el género masculino en el estilo crol.

Como última aportación, cabe reseñar la caracterización en diferentes tipos de espectro frecuencial a cada uno de los estilos de nado. En concreto, en cada estilo hay una distribución o porcentaje diferente de espectros asociados a cada estilo.

A continuación se analiza la metodología utilizada, los resultados obtenidos y las limitaciones de esta tesis, así como posibilidades de estudio en próximas investigaciones.

5.1. Metodología

En este apartado se analizan los aspectos metodológicos de la tesis con respecto a la muestra utilizada, al material y al tratamiento de los datos o registros realizados.

5.1.1. Muestra

El tamaño de la muestra del presente trabajo es de 75 sujetos (36 nadadoras y 39 nadadores). Todos ellos fueron evaluados en los cuatro estilos, lo que ha permitido el análisis inter-grupo (género femenino vs género masculino) e intra-grupo (entre estilos).

El análisis de la aceleración inter-grupos en función del género ya ha sido tratado en un estudio previo (Madera, 2011). En ese trabajo, la

aceleración se obtuvo como derivada de la velocidad y sólo en una dirección (1D). De la misma manera, este autor también realiza un análisis intra-grupo para diferenciar los estilos de nado.

En ambos géneros, la muestra se caracteriza por responder al criterio de inclusión de tener una experiencia previa de cuatro años de entrenamiento, que garantiza un dominio básico de los cuatro estilos de nado, como así se propone en las principales propuestas de planificación del entrenamiento a largo plazo (Bompa y Jones, 1983). La velocidad de nado podría representar el nivel del rendimiento y comparándola con otro estudio de similares características (Madera, 2011), se observan velocidades de nado inferiores en torno al 10%. Tampoco se especifica el nivel diferenciado de rendimiento para cada estilo de nado, como así se realiza en otros estudios (Arellano, Domínguez-Castells, Pérez-Infantes, y Sánchez, 2010; Barbosa, Santos Silva, Sousa, y Vilas-Boas, 2002; Leblanc et al., 2007; Madera, 2011; Morouço, Lima, y Vilas-Boas, 2005). Posiblemente, la segmentación por niveles de rendimiento requiera de una muestra más amplia que represente a los diferentes niveles de rendimiento. Otros estudios con un tamaño de muestra similar no obtuvieron diferencias entre niveles de rendimiento (Madera, 2011).

Con respecto a la edad, se pretendió que en la muestra estuviesen representados participantes de varias etapas de formación, en función del número de años de entrenamiento necesarios para alcanzar el alto rendimiento (Bompa y Jones, 1983). Así la edad media de los sujetos ha sido de $15,67 \pm 2,65$ en las nadadoras y de $17,21 \pm 3,84$ en los nadadores, similar al estudio de Madera (2011).

Las características antropométricas presentan similitudes a las de (Arellano et al., 2010; Madera, 2011; Tella et al., 2008), lo que permite la comparación de sus resultados cinemáticos con los obtenidos en esta tesis. Las características antropométricas descritas han sido la talla y el peso como en otros estudios cinemáticos (Alberty, Sidney, Huot-Marchand, Hespel, y Pelayo, 2005; Barbosa et al., 2002; De Jesus, 2008; Tella et al., 2008).

5.1.2. Material

En esta tesis se ha utilizado un acelerómetro 3D para analizar la aceleración, descartando el uso del vídeo o de los velocímetros para obtener los datos de aceleración. Ya en el marco teórico se mostraba las ventajas en el uso de los acelerómetros sobre estos equipos (Psycharakis y Sanders, 2009; Stamm, James, Burkett, et al., 2013).

Sobre la precisión del acelerómetro, la frecuencia de registros ha sido de 1000 Hz, más que suficiente para detectar los cambios de aceleración previstos en un segundo. Esta frecuencia debe ser el doble que la frecuencia de acciones cíclicas esperadas (*Nyquist rate*) (Cavanagh, 1976). Así, si un ciclo de nado tiene una duración aproximada de un segundo en cualquiera de los estilos de nado, y si en cada ciclo no se superan las 10-12 acciones cíclicas propulsivas, hubiera sido suficiente con utilizar sensores con una frecuencia de adquisición mínima de 50 Hz.

Una de las principales limitaciones que presenta el sensor utilizado, es que las aceleraciones que se han registrado en las diferentes direcciones lo son con respecto a la posición del acelerómetro, e inferir éstas en función de las direcciones cartesianas con respecto a la dirección de nado, hubiese necesitado de sensores que integren al menos giroscopios y acelerómetros (James et al., 2011; Salazar et al., 2010). Por ello, la caracterización de la aceleración es en términos absolutos, en función de la posición del acelerómetro durante el nado. Su análisis se ha realizado con un ANOVA que muestra los descriptivos de las variables estudiadas y sus diferencias intra e inter-grupo. Sin embargo, el análisis que se ha realizado en función de la asociación entre las variables de la aceleración y las variables cíclicas de nado, permite caracterizar la aceleración en función de estas últimas. Es decir, las correlaciones bivariadas con la velocidad de nado, la frecuencia y la longitud de ciclo, así como las regresiones lineales múltiples calculadas para predecir la velocidad de nado, permiten caracterizar las variables de la aceleración de manera relativa a su eficacia con respecto a la velocidad de nado, la frecuencia de ciclo o la longitud de ciclo.

5.1.3. Tratamiento de datos

Este trabajo es pionero en analizar la aceleración en 3D en el dominio temporal y frecuencial para los cuatro estilos de nado, y tomando como referencia trabajos previos que han analizado la aceleración en una sola dirección (Holmér, 1979; Madera, 2011; Tella et al., 2008), se ha optado por considerar todas aquellas aceleraciones que se producen a una frecuencia inferior a 20 Hz. En concreto, estos estudios no han encontrado aceleraciones de magnitud relevante a frecuencias superiores a 10 Hz.

5.2. Resultados

En este apartado, se analizarán cualitativa los patrones de aceleración de los diferentes estilos, y de manera cuantitativa las diferencias entre géneros, las diferencias entre estilos y las diferencias entre las direcciones en cada estilo de nado. Además se analizará la relación de las variables cíclicas con la aceleración, las variables predictoras de la velocidad y la asociación entre tipo de espectro y estilo de nado.

5.2.1. Análisis cualitativo de los perfiles de aceleración

En este subapartado, se analizan de manera cualitativa los perfiles de aceleración en cada uno de los estilos. En general, los diferentes patrones que han realizado tanto los nadadores como las nadadoras, responden a patrones básicos específicos propios de cada estilo (Le Sage et al., 2010; Le Sage, Bindel, Conway, Justham, et al., 2011). También muestran máximos y mínimos diferentes en cada dirección, en función de las diferentes fases coordinativas de cada estilo. Si bien, cada participante puede presentar un perfil intraciclo diferente de la aceleración en función de sus características técnicas, físicas y/o antropométricas (Slawson et al., 2008).

5.2.1.1. Análisis cualitativo de los perfiles de aceleración en el estilo mariposa

En el estilo mariposa se observa como en la mayoría de participantes, los perfiles intraciclo en la dirección superior-inferior y antero-posterior, permiten diferenciar con sus valores mínimos el inicio

de cada ciclo de nado. Sin embargo, el perfil en la dirección medio-lateral es irregular, y no está sujeto a un patrón cíclico claramente definido.

En este sentido, en el estilo mariposa, las principales acciones propulsivas y coordinativas tienen como consecuencia fuerzas que actúan en estas direcciones (Maglischo, 2009).

Como ya se ha mencionado anteriormente, existen diferencias intraciclo entre los participantes en este estudio como a modo de ejemplo se representó en la Figura 4.1.

5.2.1.2. Análisis cualitativo de los perfiles de aceleración en el estilo espalda

En el estilo espalda se observa como en la mayoría de participantes, los perfiles intraciclo en la dirección superior-inferior y medio-lateral, permiten diferenciar con sus valores mínimos el inicio de cada ciclo de nado. Sin embargo, el perfil en la dirección antero-posterior es más irregular, y no está sujeto a un patrón cíclico claramente definido.

En este sentido, en el estilo espalda, las principales acciones propulsivas y coordinativas que tendrían como consecuencia fuerzas que actúan en la dirección medio-lateral y antero-posterior fundamentalmente (Maglischo, 2009), no permiten identificarse con claridad en la dirección antero-posterior. Posiblemente, este estilo tenga más dificultades coordinativas entre las diferentes acciones propulsivas, a diferencia de estilos simétricos como el estilo mariposa y el estilo braza.

Además, existen diferencias intraciclo entre los participantes en este estudio como a modo de ejemplo se representó en la Figura 4.2.

5.2.1.3. Análisis cualitativo de los perfiles de aceleración en el estilo braza

En el estilo braza se observa como en la mayoría de participantes, los perfiles intraciclo en la dirección superior-inferior y antero-posterior, permiten diferenciar con sus valores mínimos el inicio de cada ciclo de nado. Sin embargo, el perfil en la dirección medio-lateral es irregular, y no está sujeto a un patrón cíclico claramente definido.

En este sentido, en el estilo braza, las principales acciones propulsivas y coordinativas tienen como consecuencia fuerzas que actúan en estas direcciones (Maglischo, 2009).

Como ya se ha mencionado anteriormente, existen diferencias intraciclo entre los participantes en este estudio como a modo de ejemplo se representó en la Figura 4.3.

5.2.1.4. Análisis cualitativo de los perfiles de aceleración en el estilo crol

En el estilo crol se observa como en la mayoría de participantes, el perfil intraciclo en la dirección medio-lateral, permite diferenciar con sus valores mínimos el inicio de cada ciclo de nado. Sin embargo, los perfiles en las direcciones superior-inferior y antero-posterior son más irregulares, y no están sujetos a un patrón cíclico claramente definido.

En este sentido, en el estilo crol, las principales acciones propulsivas y coordinativas que tendrían como consecuencia fuerzas que actúan en la dirección medio-lateral y antero-posterior (Maglischo, 2009), sólo permiten identificar con claridad un perfil en la dirección antero-posterior. Posiblemente, este estilo, de la misma manera que ocurre en el estilo espalda, la dificultad coordinativa entre las diferentes acciones propulsivas entre los miembros superiores e inferiores sea mayor que en los estilos simultáneos (mariposa y braza).

Además, existen diferencias intraciclo entre los participantes en este estudio como a modo de ejemplo se representó en la Figura 4.4.

5.2.2. Diferencias entre géneros

En este subapartado, se analizan las diferencias de las variables cíclicas de nado y las variables de la aceleración tanto temporales como frecuenciales.

5.2.2.1. Variables cíclicas de nado

En este estudio, el género masculino muestra velocidades superiores al género femenino en todos los estilos de nado, como así se confirma en estudios que comparan a ambos géneros de similar edad y rendimiento (Arellano et al., 1994; Chollet et al., 1996; Haljand, 2011; Morales, 2006).

Sin embargo, la frecuencia de ciclo sólo ha registrado diferencias en los estilos de espalda y crol, obteniendo mayores valores el género masculino que el femenino. Estos resultados contrastan con los obtenidos

por Morales (2006), que sólo mostró diferencias en los estilos de espalda y braza, en pruebas de 100 metros y con participantes más jóvenes. En un estudio (Madera, 2011) con una muestra de sujetos de edades similares y siendo testados también en una prueba de 25 metros, no se obtuvieron diferencias en ningún estilo. En cualquier caso, el género masculino obtiene frecuencias de ciclo superiores al género femenino en todos los estilos, aunque sus diferencias no sean siempre significativas (Takagi et al., 2004; Zamparo, 2006).

La longitud de ciclo no muestra diferencias en los estilos entre géneros, al contrario que en la mayoría de estudios, ya sea en distancias superiores (Pelayo, Sidney, Kherif, Chollet, y Tourny, 1996; Sánchez-Molina y Arellano, 2002; Seifert, Chollet, y Chatard, 2007) o en la misma distancia a las de este estudio (Madera, 2011). En cualquier caso, la tendencia observada es que la longitud de ciclo es mayor para el género masculino que para el femenino.

Por tanto, en este estudio la principal variable cíclica de nado caracterizadora en todos los estilos y en función del género, ha sido la velocidad de nado, si bien la frecuencia de ciclo sólo ha mostrado diferencias en los estilos de espalda y crol, mientras que la longitud de ciclo no ha permitido caracterizar a los estilos en función del género.

5.2.2.2. Variables temporales y frecuencias de la aceleración

Las diferencias entre géneros son analizadas a continuación, para cada estilo de nado.

5.2.2.2.1. Estilo *Mariposa*

En la dirección superior-inferior aparecen diferencias en todas las variables temporales y frecuenciales, excepto en PPF. En la dirección medio-lateral sólo PP y PPF no son diferentes entre géneros. Por el contrario, en la dirección antero-posterior sólo MIN, y SA, así como la variable InRMS muestran diferencias entre géneros. En general, estas diferencias destacan que el género masculino registra mayores valores, excepto en InRMS donde el género femenino obtiene valores superiores. Estos resultados se podrían justificar por las diferencias antropométricas y físicas que caracterizan a ambos géneros (Manley y Atha, 1992; Schnitzler et al., 2008). Sin embargo, llama la atención que

las nadadoras obtengan mayores valores en InRMS. En mariposa, como ya se ha descrito anteriormente, este índice relaciona la producción de aceleraciones en la dirección antero-posterior con respecto a la superior-inferior. De tal manera, que a mayor producción de aceleración en la dirección antero-posterior el valor de este índice será mayor a 1 y al contrario menor que 1. Así, este índice muestra la proporción o eficiencia de una dirección con respecto a la otra. En este estilo, ambos géneros presentan valores superiores a 1, por lo que en la dirección antero-posterior se produce más aceleración en ambos géneros. Sin embargo, el género femenino muestra una mayor eficiencia que el masculino en la producción de aceleraciones en la dirección antero-posterior con respecto a la producción en la dirección superior-inferior. Posiblemente, esto se deba a una mayor flotabilidad de las mujeres con respecto a los hombres (McLean y Hinrichs, 1998), que favorecería esta mayor eficiencia durante el nado de mariposa, representada con mayores valores en el InRMS.

Con respecto a la frecuencia en la que se producen las principales aceleraciones (PPF) en la dirección antero-posterior, conviene resaltar que se repiten casi dos veces por segundo en ambos géneros (1,73 Hz género masculino; 1,66 Hz género femenino). En función de la propuesta de Tella et al. (2008) que analizan las aceleraciones que se realizan durante un ciclo de nado a través del valor de PPF obtenido, en esta tesis con la frecuencia de ciclo de estos nadadores y nadadoras (50,33 c/m y 46,92 c/m respectivamente), los valores de PPF estarían informando que en mariposa los participantes realizan dos aceleraciones importantes en cada ciclo de nado (2,06 los nadadores y 2,12 las nadadoras). Estos valores son muy inferiores a los obtenidos por Madera (2011) en una sola dirección (velocímetro) y a velocidades aproximadamente superiores en un 10%. Posiblemente, las diferencias con los resultados de Madera (2011) (5,97 Hz para el género masculino y 4,88Hz para el género femenino en PPF), estén reflejando las aceleraciones que se producen durante el nado en las tres direcciones, a diferencia del análisis de la aceleración en 3D que es capaz de discriminar esta variable (PPF) en cada una de las tres direcciones. En cualquier caso, la relación FC y PPF estaría poniendo de relieve la frecuencia con la que se repiten las aceleraciones importantes durante un ciclo de nado. Si bien, el patrón de coordinación de las

acciones propulsivas nos indica cuales son relevantes a la hora de proporcionar fuerzas propulsivas (Maglischo, 2009), esta relación podría informar de su eficacia para concentrar las aceleraciones importantes a una frecuencia determinada durante un ciclo de nado. A modo de ejemplo, un participante que respondiera a los valores medios obtenidos en este trabajo de PPF y FC, obtendría dos aceleraciones importantes por cada ciclo de nado, a diferencia de los cinco picos de aceleración que se producen según Mason, Tong, y Richards (1992) y Sanders, Cappaert, y Devlin (1995). Esta información de la relación de PPF con la FC pondría de relieve la capacidad para coordinar las diferentes acciones propulsivas en dos momentos por cada ciclo de nado, que como nos indica Counsilman (2007) y Chollet, Seifert, Boulesteix, y Carter (2006) corresponderían con las fase inicial y final del movimiento ondulatorio, o las fases descendentes de los dos batidos por ciclo de nado.

A modo de resumen, las variables temporales de la aceleración en el estilo mariposa y el InRMS permiten caracterizar el estilo en función del género. En general, el género masculino produce más aceleración, y el género femenino es más eficiente en el InRMS. Sin embargo, las variables frecuenciales muestran un comportamiento similar entre géneros, que tras los cálculos correspondientes con respecto a la frecuencia de ciclo, permiten identificar el número de aceleraciones importantes que se producen en cada dirección por ciclo de nado.

5.2.2.2.2. Estilo Espalda

Los resultados del estilo espalda en la dirección superior-inferior, muestran que existen diferencias entre géneros en todas las variables de la aceleración con la excepción de MIN y PPF. En la dirección medio-lateral existen diferencias en todas las variables, con la excepción de PP. En la dirección antero-posterior existen diferencias en todas las variables. En general, todas las direcciones muestran valores superiores en el género masculino. En el InRMS, que relaciona la producción de aceleración en la dirección antero-posterior con la dirección medio-lateral, los valores son superiores para el género masculino. Al igual que en el estilo mariposa, estas diferencias serían debidas a las características antropométricas y físicas que caracterizan a ambos géneros (Manley y Atha, 1992; Schnitzler et al., 2008). Al contrario que en el estilo mariposa (i) el

InRMS presenta ratios de eficiencia menores a 1, por lo que la eficiencia en la producción de aceleración en la dirección antero-posterior es menor que en la dirección medio-lateral en ambos géneros y (ii) el género masculino es más eficiente en la producción de aceleraciones en la dirección antero-posterior con respecto a la dirección medio-lateral al mostrar valores superiores (InRMS=0,86) que el género femenino (InRMS=0,72) en este índice. Posiblemente, y a diferencia con el estilo mariposa, estas diferencias se puedan deber a una mejor estabilidad en la posición del cuerpo durante el rolido, como resultado de la coordinación de las acciones propulsivas de miembros superiores (Maglischo, 2009; Psycharakis y Sanders, 2010).

Con respecto a la frecuencia en la que se producen las principales aceleraciones (PPF) en la dirección antero-posterior conviene resaltar que se repiten casi cinco veces por segundo en el género masculino y 4 veces en el femenino (4,83 Hz nadadores; 4,01 Hz nadadoras). En función de la frecuencia de ciclo de estos nadadores y nadadoras (45,12 c/min y 41,06 c/min respectivamente) los valores de PPF estarían informando que en espalda estarían realizando cerca de seis aceleraciones importantes en cada ciclo de nado (6,42 los nadadores y 5,86 las nadadoras), lo que correspondería aproximadamente a tres por cada brazada según Maglischo (2009). Los valores de PPF son inferiores a los obtenidos por Madera (2011) y por el contrario, su correspondencia a un ciclo de nado es inferior. Como ya se comentó en estilo mariposa, la aceleración obtenida a través de registros con un acelerómetro (1D), no puede discriminar de manera selectiva las aceleraciones en cada dirección, y por ello sus resultados no son comparables a los de este estudio.

A modo de resumen, tanto las variables temporales como frecuenciales de la aceleración en el estilo espalda, así como el InRMS permiten caracterizar el estilo en función del género. En general, el género masculino produce más aceleración que el femenino, es más eficiente en el InRMS y produce las aceleraciones principales a una mayor frecuencia.

5.2.2.2.3. Braza

En el estilo braza, en la dirección superior e inferior existen diferencias entre géneros en todas las variables de la aceleración, excepto

en PP. En la dirección medio-lateral existen diferencias entre géneros en todas las variables de nado, con la excepción de PPF. En la dirección antero-posterior sólo existen diferencias en MIN. Sin embargo, en todas las direcciones las diferencias y las tendencias encontradas muestran valores superiores para el género masculino, confirmando el efecto que pueden tener las características antropométricas y físicas en la producción de aceleraciones durante el nado (Manley y Atha, 1992; Schnitzler et al., 2008). Al contrario que en los estilos mariposa y espalda, este estilo no muestra diferencias en el InRMS. Si bien, en ambos géneros, los valores superiores a 1 (nadadores 1,63 y nadadoras 1,73) muestran una mayor eficiencia en la producción de aceleraciones en la dirección antero-posterior con respecto a la de la dirección superior-inferior.

Con respecto a la frecuencia en la que se producen las principales aceleraciones (PPF) en la dirección antero-posterior, conviene resaltar que se repiten cerca dos veces por segundo en ambos géneros (2,30 Hz nadadores; 2,28 Hz nadadoras). En función de la frecuencia de ciclo de estos nadadores y nadadoras (46,17 c/m y 43,48 c/m respectivamente), los valores de PPF estarían informando que en braza aproximadamente se realizan tres aceleraciones importantes en cada ciclo de nado (2,99 los nadadores y 3,15 las nadadoras). Estos datos son similares a los obtenidos por Madera (2012), y coincidiría con el número de aceleraciones principales que se producen por ciclo de nado según Chollet et al. (2004).

A modo de resumen, tanto las variables temporales como frecuenciales de la aceleración en el estilo braza, a excepción del InRMS permiten caracterizar el estilo en función del género. En general, el género masculino produce más aceleración que el femenino, y ambos géneros muestran mayor eficacia en la producción de aceleraciones en la dirección antero-posterior con respecto a la dirección superior-inferior ($\text{InRMS} > 1$), como la capacidad para producir las aceleraciones principales a frecuencias similares.

5.2.2.2.4. Crol

En el estilo crol, los cambios de aceleración registrados en las direcciones superior-inferior y medio-lateral muestran que existen diferencias entre géneros en todas las variables de la aceleración, excepto en PP y PPF. En la dirección antero-posterior hay diferencias en todas las

variables. También en este estilo de nado los valores son mayores para el género masculino en todas las direcciones. En el InRMS también los valores son mayores en el género masculino. En este estilo de nado los valores obtenidos en este índice menores a 1, muestran que en ambos géneros hay menor eficiencia en la producción de aceleraciones en la dirección antero-posterior que en la dirección medio-lateral. Y de la misma manera que en espalda, el género masculino muestra una mayor eficiencia en la producción de aceleraciones en la dirección antero-posterior con respecto a la dirección medio-lateral, al mostrar valores superiores (InRMS=0,54) que el género femenino (InRMS=0,41) en este índice. Tella et al. (2007) ya mostraron valores de este índice inferiores a 1 y una tendencia de que a mayor velocidad mayor proporción de las aceleraciones en la dirección antero-posterior, con respecto a las aceleraciones en la dirección medio-lateral.

Con respecto a la frecuencia en la que se producen las principales aceleraciones (PPF) en la dirección antero-posterior, conviene resaltar que 4,39 veces por segundo en el género masculino (4,39 Hz) y 3,62 veces en el femenino (3,62 Hz) se repiten las principales aceleraciones. En función de la frecuencia de ciclo de estos nadadores y nadadoras (52,83 c/m y 48,12 c/m respectivamente), los valores de PPF estarían informando que en crol se estarían realizando cerca de cinco aceleraciones importantes en cada ciclo de nado (4,99 los nadadores y 4,51 las nadadoras). Estos datos son similares a los obtenidos por Madera (2011) y Tella et al. (2008), y coincidiría con el número de aceleraciones principales que se producen por ciclo de nado según Counsilman y Wasilak (1982).

A modo de resumen, las variables temporales y el InRMS permiten caracterizar el estilo en función del género. En general, el género masculino produce más aceleración que el femenino en todas las direcciones, y son más eficientes en el InRMS. Así mismo, son capaces de producir a mayor frecuencia las aceleraciones principales en la dirección antero-posterior.

5.2.3. Diferencias entre estilos

En este apartado se analizan las diferencias de las variables cíclicas de nado y las variables de la aceleración, tanto temporales como frecuenciales entre los diferentes estilos en cada género.

5.2.3.1. Diferencias en las variables cíclicas de nado en cada estilo en el género masculino y femenino

En general, tanto el género femenino como el masculino muestran diferencias en las tres variables cíclicas (velocidad, frecuencia de ciclo y longitud de ciclo). Estas diferencias están condicionadas a la propia estructura cinemática de nado (Maglischo, 2009) y al reglamento específico (FINA, 2009) para cada uno de los estilos.

Con respecto a la velocidad, tanto las nadadoras como los nadadores se desplazan a mayor velocidad con el estilo crol y con una menor velocidad en el estilo braza, confirmando lo que varios estudios ya concluyeron con anterioridad (Costill et al., 1992; Hellard et al., 2008; Morales et al., 2010; Morales, 2006; Pelayo et al., 1997; Sánchez-Molina y Arellano, 2002; Wakayoshi et al., 1993). Sin embargo, no existen diferencias de velocidad entre el estilo mariposa y el estilo espalda, a diferencia de los estudios citados anteriormente donde el estilo mariposa alcanza velocidades superiores al estilos espalda.

La frecuencia de ciclo también muestra diferencias entre los estilos en ambos géneros. Las diferencias aparecen entre la mariposa y la espalda, y entre la braza y el crol en ambos géneros, mientras que para la espalda con el crol sólo existen diferencias en el género femenino. Estas diferencias muestran que el estilo mariposa y el estilo crol tienen mayores frecuencias de ciclo, mientras que el estilo espalda y el estilo braza registran frecuencias de ciclo más bajas, aunque las diferencias no sean siempre significativas (Arellano et al., 1994; Chollet et al., 1996; Haljand, 2011).

También la longitud de ciclo muestra diferencias entre todos los estilos y en ambos géneros, excepto entre los estilos mariposa y crol. De tal manera que en espalda se realizan las longitudes de ciclo mayores y en el estilo braza se realizan las menores longitudes. Estos resultados difieren parcialmente con los obtenidos por Hellard et al. (2008) para el

género femenino, y Kilani y Zeidan (2004) para el género masculino, ya que el crol se presenta como el estilo con mayor longitud de ciclo.

5.2.3.2. Diferencias en las variables de la aceleración

En este apartado se presentan los resultados obtenidos de la comparación de las variables de la aceleración temporales o frecuenciales en cada dirección y en función del género.

5.2.3.2.1 Género Femenino:

Con respecto a la dirección superior-inferior, el estilo mariposa se muestra como el que más RMS produce. Sin embargo, los valores mínimos de la aceleración no muestran diferencias entre estilos. En los valores máximos, el único estilo que se diferencia del resto es el crol, produciendo los valores más bajos de aceleración en esta dirección. La mariposa es un estilo que técnicamente requiere de movimientos ondulatorios del cuerpo, que faciliten las acciones propulsivas de miembros superiores e inferiores, quizá por ello sea el estilo que más aceleración produce en esta dirección (Sanders et al., 1995). Sin embargo en el estilo de braza, según la variante técnica de braza utilizada (plana vs ondulatoria), podría tener justificación los movimientos del cuerpo en esa dirección superior-inferior (Maglischo, 2009). Los valores inferiores obtenidos en esta dirección (41,8%) con respecto a la mariposa, y la ausencia de diferencias con respecto a los estilos crol y espalda, nos está indicando que esta dirección es poco caracterizadora de los estilos espalda, braza y crol para el género femenino.

En la dirección medio-lateral los estilos de mariposa y braza muestran los valores de RMS, MIN y MAX más bajos y no muestran diferencias entre ellos. La poca importancia que tienen los movimientos en esta dirección en el nado de estos estilos podría ser la principal causa (Maglischo, 2009). Sin embargo, los estilos en los que el rolido del cuerpo o las acciones alternativas de los segmentos propulsivos son determinantes en la técnica de nado, como la espalda (Alves et al., 1998) y el crol (Psycharakis y Sanders, 2010), son los que producen mayor RMS, MIN y MAX en esta dirección. Con respecto a la RMS de estos dos estilos, el crol produce aproximadamente un 43,2% (i.e. $4,51 \text{ (m}\cdot\text{s}^{-2})^2$ vs $2,56 \text{ (m}\cdot\text{s}^{-2})^2$) más que el estilo espalda, mostrándose como el estilo que

más aceleración produce en la dirección medio-lateral en el género femenino.

Con respecto a la dirección antero-posterior, los estilos mariposa y braza son los que más aceleración producen. De estos dos estilos, en la mariposa se produce aproximadamente un 36,8% de RMS más que en braza durante el nado. Por el contrario, los estilos crol y espalda son los que producen menor aceleración. De esta manera, los estilos que mayor variación de la velocidad intraciclo producen son la mariposa y la braza (Balonas et al., 2006; Morouço, 2009), coincidiendo con los estilos que en este estudio presentan mayor producción de aceleración antero-posterior. De la misma manera, estos autores indican que el crol y la espalda son los estilos más continuos, y que por tanto, presentan una menor variación de la velocidad intraciclo coincidiendo con los estilos de nado que han producido menor aceleración en la dirección antero-posterior. Posiblemente, la mayor continuidad propulsiva o menor variación de la velocidad intraciclo en cada uno de los estilos, sea la causa de una mayor o menor producción de aceleración en esta dirección. El análisis de los valores mínimos y máximos de aceleración, muestra que los estilos espalda y crol son diferentes a los estilos braza y mariposa. Si calculamos el rango de la aceleración en estos estilos, mariposa y braza tienen un rango de 19,13 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$) y 16,73 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$) respectivamente, mientras que los estilos de crol y espalda presentan rangos inferiores de 10,74 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$) y 10,68 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$), que justifican la mayor variabilidad de los estilos, así como un hipotético mayor consumo energético (Barbosa et al., 2008).

La RMS de la aceleración en los cuatro estilos sólo ha sido estudiada con anterioridad por Madera (2011). Su estudio se realizó a través de los registros obtenidos por un velocímetro, por lo que la magnitud de sus aceleraciones no son comparables a las del presente estudio. Sin embargo Madera (2011) muestra que el estilo que más aceleración produce es el estilo mariposa, seguido del crol, la braza y la espalda. Esta caracterización de los estilos en función de la mayor o menor producción de aceleración (RMS), no se corresponde con la obtenida para el género femenino en este estudio en ninguna de las direcciones, posiblemente porque su jerarquización no separa la muestra por género.

Al analizar las diferencias en el InRMS entre estilos, conviene separar a aquellos estilos en los que se relaciona la aceleración en la dirección antero-posterior con la dirección superior-inferior (mariposa y braza), de aquellos en los que el índice relaciona la aceleración en la dirección antero-posterior con la dirección medio-lateral (crol y espalda). De esta manera, este índice presenta valores similares de eficiencia para el estilo mariposa y braza (1,66 y 1,73 respectivamente), y de eficacia al mostrar que la producción de aceleración en la dirección antero-posterior es mayor que en la dirección superior-inferior (i.e. $\text{InRMS} > 1$). Por el contrario, en crol y en espalda este índice presenta valores diferentes de eficiencia (0,41 y 0,72 respectivamente), informando de una menor aceleración relativa en la dirección antero-posterior, con respecto a la aceleración medio-lateral de la espalda. Así mismo, en ambos estilos, la producción de aceleración en la dirección medio-lateral, es más eficaz que en la antero-posterior (i.e. $\text{InRMS} < 1$), y mayor en espalda que en crol.

En general, las diferencias obtenidas en las variables frecuenciales PP y SA en las tres direcciones, son similares a las descritas para la variable temporal RMS en cada una de las direcciones, excepto en la dirección antero-posterior. Aun siendo variables que se obtienen del análisis frecuencial, sus valores muestran magnitudes de aceleración elevadas al cuadrado, por lo que su relación está muy condicionada a la producción de aceleración. De hecho, las correlaciones entre RMS y PP, y entre RMS y SA en las tres direcciones muestran coeficientes de correlación superiores a 0,8, limitando su capacidad caracterizadora más allá de lo que informa la RMS por un criterio estadístico de colinealidad.

Así, en la dirección superior-inferior, la PPF en el estilo mariposa es la que representa una menor frecuencia en las principales aceleraciones, que en función de su frecuencia de ciclo estarían produciéndose aproximadamente dos veces en el estilo mariposa (i.e. 2,14) y entre 3 y 4 veces para el resto de estilos (i.e. espada 4,22; braza 3,26, crol 3,93).

En la dirección medio-lateral, la variable PPF en los estilos de mariposa y braza tiene una mayor frecuencia para las principales aceleraciones, y los estilos crol y espalda tienen una menor frecuencia. En función de su frecuencia de ciclo estarían produciéndose entre 4 y 5 veces

por ciclo de nado para los estilos mariposa y braza (i.e. mariposa 4,30; braza 4,95) y entre 2 y 3 veces en espalda y crol (i.e. espalda 3,14; crol 2,61).

Con respecto a la dirección antero-posterior, la variable PPF en el estilo mariposa se muestra con la menor frecuencia para producir las principales aceleraciones, la braza sería el siguiente estilo, y los estilos con mayor PPF serían la espalda y el crol. De esta manera y en función de sus frecuencias de ciclo, estarían produciendo aproximadamente 2,12 veces por ciclo de nado en mariposa, 3,15 en braza y entre 6 y 4 veces por ciclo de nado para los estilos espalda y crol respectivamente, sin que éstos dos últimos muestren diferencias.

5.2.3.2.2 Género Masculino

Con respecto a la dirección superior-inferior, el estilo mariposa se muestra como el que más RMS produce y más aceleraciones mínimas. La mariposa es un estilo que técnicamente requiere de movimientos ondulatorios del cuerpo, que faciliten las acciones propulsivas de miembros superiores e inferiores, quizá por ello sea el estilo que más aceleración produce en esta dirección de la misma manera que en el género femenino (Sanders et al., 1995). Sin embargo en el estilo de braza, según la variante técnica de braza utilizada (plana vs ondulatoria), podría tener justificación los movimientos del cuerpo en esa dirección superior-inferior (Maglischo, 2009). Los valores inferiores obtenidos en esta dirección (46,71%) con respecto a la mariposa, y la ausencia de diferencias con respecto a los estilos crol y espalda, nos está indicando que esta dirección es poco caracterizadora de los estilos espalda, braza y crol para el género masculino. Los valores máximos de la aceleración muestran que la mariposa produce picos de aceleración máxima mayores que en braza, y que la braza más que los estilos espalda y crol.

En la dirección medio-lateral, los estilos de mariposa y braza muestran los valores de RMS, MIN y MAX más bajos, aunque mariposa produce un 14,29% mayor de RMS que braza. La poca importancia de movimientos en esta dirección en el nado de estos estilos podría ser la principal causa (Maglischo, 2009). Sin embargo, los estilos en los que el rolido del cuerpo o las acciones alternativas de los segmentos propulsivos son determinantes en la técnica de nado, como la espalda (Alves et al.,

1998) y el crol (Psycharakis y Sanders, 2010), son los que producen mayor RMS, MIN y MAX en esta dirección. Con respecto a la RMS de estos dos estilos, el crol produce aproximadamente un 75,41% más que mariposa y un 78,92% más que braza, mostrándose como el estilo que más aceleración produce en la dirección medio-lateral en el género masculino.

Con respecto a la dirección antero-posterior, el estilo mariposa con mayor variación de la velocidad intraciclo que la espalda y el crol (Balonas et al., 2006; Morouço, 2009) es el estilo que más aceleración produce (>30%). Sin embargo, el estilo braza que se caracteriza por tener mayor variación de la velocidad intraciclo (Balonas et al., 2006) produce un 35,48% de RMS menor que el estilo mariposa. Posiblemente, la mayor continuidad propulsiva de los estilos crol y espalda, sea la causante de la menor producción de aceleración en esta dirección, no mostrando diferencias entre ellos. Esta jerarquización coincide con la obtenida por Madera (2011) con una muestra mixta de ambos géneros y a través de datos obtenidos con un velocímetro. En el caso de la braza, y aunque no ha sido un parámetro estudiado en esta tesis, el género masculino podría estar realizando un tipo de coordinación en “superposición” (Chollet et al., 2004), que implica más continuidad en las acciones propulsivas de miembros superiores e inferiores, y con ella una menor variación de la velocidad intraciclo. Si para analizar los valores máximos y mínimos de aceleración calculamos el rango de las aceleraciones, observamos que mariposa tiene un rango de $9,86 \text{ (m}\cdot\text{s}^{-2}\text{)}$, braza $9,1 \text{ (m}\cdot\text{s}^{-2}\text{)}$, crol $8,02 \text{ (m}\cdot\text{s}^{-2}\text{)}$ y espalda $7,46 \text{ (m}\cdot\text{s}^{-2}\text{)}$, estos se muestran inferiores a los obtenidos por el género femenino, y quizá por ello se sustente el argumento anterior de que el género masculino tiene más capacidad de realizar coordinaciones en superposición en nados de distancias cortas y a la máxima velocidad.

De la misma manera que en el género femenino, al analizar la diferencia en el InRMS entre estilos, conviene separar a aquellos estilos en los que se relaciona la aceleración en la dirección antero-posterior con la dirección superior-inferior (mariposa y braza) de aquellos en los que el índice relaciona la aceleración en la dirección antero-posterior con la dirección medio-lateral (crol y espalda). De esta manera, este índice presenta valores similares de eficiencia para el estilo mariposa y braza

(1,42 y 1,63 respectivamente), y de eficacia al mostrar que la producción de aceleración en la dirección antero-posterior es mayor que en la superior (i.e. $\text{InRMS} > 1$). Por el contrario, en crol y en espalda este índice presenta valores de eficiencia diferentes (0,54 y 0,86 respectivamente), informando de una mayor aceleración relativa en la dirección antero-posterior con respecto a la aceleración medio-lateral de la espalda. Así mismo, en ambos estilos, la producción de aceleración en la dirección medio-lateral es más eficaz que en la antero-posterior (i.e. $\text{InRMS} < 1$), y mayor en espalda que en crol.

Al analizar las variables frecuenciales, y al igual que en el género masculino descartamos las variables PP y SA por colinealidad con la variable RMS. Así, en la dirección superior-inferior, la variable PPF en el estilo mariposa es la que representa una menor frecuencia en las principales aceleraciones, que en función de sus frecuencias de ciclo estarían produciéndose aproximadamente sobre dos veces en el estilo mariposa (i.e. 2,09) y entre 3 y 4 veces para el resto de estilos (i.e. espada 3,31; braza 3,87, crol 3,89).

En la dirección medio-lateral, la variable PPF en los estilos de mariposa y braza tiene una mayor frecuencia para las principales aceleraciones, le sigue espalda y el estilo que tiene una menor PPF es el estilo crol. De esta manera y en función de sus frecuencias de ciclo, estarían produciéndose aproximadamente 4 veces por ciclo de nado para los estilos mariposa y braza (i.e. mariposa 3,96; braza 4,07), y entre 2 y 3 veces en espalda y crol (i.e. espalda 3,15; crol 2,24).

Con respecto a la dirección antero-posterior, la variable PPF en el estilo mariposa se muestra con la menor frecuencia para producir las principales aceleraciones, la braza sería el siguiente estilo y los estilos que con mayor frecuencia producen las aceleraciones principales serían la espalda y el crol. De esta manera y en función de sus frecuencias de ciclo estarían produciéndose 2,06 veces por ciclo de nado de mariposa, 2,98 en braza, y entre 6,42 y 4,99 veces por ciclo de nado para los estilos espalda y crol respectivamente, sin que éstos dos últimos muestren diferencias.

5.2.4. Diferencias entre direcciones en cada estilo

En este apartado se analizarán las diferencias entre las direcciones en cada estilo de nado.

5.2.4.1. Estilo mariposa

En el dominio temporal, tanto el género femenino como el masculino producen una mayor RMS en la dirección antero-posterior. En concreto, en la dirección superior-inferior la producción de aceleración es menor tanto en nadadoras (37,3%) como en nadadores (24,05%). En ambos géneros, la producción en la dirección medio-lateral es la más baja, siendo con respecto a la producción en la dirección antero-posterior menor en un 72,22% para el género femenino y en un 68,33 en el género masculino. Este desequilibrio en la aceleración que se produce entre las diferentes direcciones, pone de relevancia la importancia de las fuerzas que se generan fundamentalmente en las direcciones antero-posterior y superior-inferior (Maglischo, 2009).

Con respecto a las aceleraciones mínimas y máximas existen diferencias entre las tres direcciones, en ambos géneros los mayores valores han sido registrados en la dirección antero-posterior. Al calcular el rango entre los valores mínimos y máximos de cada dirección, se destaca que aquellas aceleraciones que tienen el mayor rango producen mayor RMS. El género femenino tiene un rango de 19,13 ($m \cdot s^{-2}$) y el género masculino un rango de 23,21($m \cdot s^{-2}$). En próximos estudios convendría analizar si esta variabilidad tiene influencia sobre la velocidad de nado como así la tiene la variación de la velocidad intraciclo (Hahn y Krug, 1992; Manley y Atha, 1992; Takagi et al., 2004; Togashi y Nomura, 1992).

En el dominio frecuencial destaca en ambos géneros la mayor frecuencia obtenida por la dirección que menos RMS produce (dirección medio-lateral). Así la PPF en la dirección medio-lateral obtiene valores de 3,37 Hz en el género femenino y 3,32 Hz en el masculino, que supone realizar aproximadamente 4,30 ó 3,95 aceleraciones importantes por cada ciclo de nado respectivamente. En el resto de direcciones los valores de PPF obtenidos representan aproximadamente sobre dos aceleraciones importantes por cada ciclo de nado.

Posiblemente, estos valores similares estén indicando un grado de coordinación entre las acciones propulsivas que producen aceleraciones en la dirección antero-posterior y en la dirección superior-inferior.

5.2.4.2. Estilo espalda

En el dominio temporal, tanto en el género femenino como en el masculino, a diferencia del estilo de mariposa, la mayor RMS se produce en la dirección medio-lateral. En concreto, en la dirección antero-posterior la producción de aceleración es menor tanto en nadadoras (30,47%) como en nadadores (17,03%). En ambos géneros, la producción en la dirección superior-inferior es la más baja, siendo con respecto a la producción en la dirección medio-lateral menor en un 39,06% para el género femenino y en un 41,96 en el género masculino. En este estilo, el desequilibrio en la aceleración que se produce entre las diferentes direcciones no es tan grande como en el estilo mariposa, no superando diferencias porcentuales superiores al 50% entre las diferentes direcciones.

Con respecto a las aceleraciones mínimas y máximas, existen diferencias entre las tres direcciones, siendo mayores en ambos casos las obtenidas en la dirección medio-lateral. Al calcular el rango entre los valores mínimos y máximos de cada dirección, se destaca que aquellas que tienen el mayor rango producen mayor RMS, como es el caso de la dirección medio-lateral en la que el género femenino tiene un rango de $14,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ y el masculino un rango de $18,42 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. En próximos estudios, al igual que en el estilo mariposa, convendría analizar si esta variabilidad tiene influencia sobre la velocidad de nado, como así la tiene la variación de la velocidad intraciclo (Hahn y Krug, 1992; Manley y Atha, 1992; Takagi et al., 2004; Togashi y Nomura, 1992).

En el dominio frecuencial y en ambos géneros destaca la mayor frecuencia obtenida por la dirección antero-posterior que no corresponde con la que más RMS produce (dirección medio-lateral). Así la PPF en la dirección antero-posterior obtiene valores de 4,01Hz en las nadadoras y 4,83 Hz en los nadadores, que supone realizar aproximadamente 5,85 ó 6,42 aceleraciones importantes por cada ciclo de nado respectivamente. Además, el género femenino realizaría 1,98 aceleraciones importantes por cada ciclo de nado en la dirección superior-inferior y 1,47 en la dirección

medio-lateral. Por el contrario, el género masculino al no obtener diferencias entre las direcciones superior-inferior y medio-lateral, estaría realizando entre 3 y 4 aceleraciones importantes por cada ciclo de nado, indicando una posible coordinación entre las acciones propulsivas que generan aceleración en estas dos direcciones.

A diferencia del estilo mariposa, la frecuencia en la que se producen las aceleraciones en la dirección antero-posterior, se muestra independiente del resto de direcciones.

5.2.4.3. Estilo braza

En el dominio temporal, tanto el género femenino como el masculino producen una mayor RMS en la dirección antero-posterior. En concreto, en la dirección superior-inferior la producción de aceleración es menor tanto en nadadoras (42,26%) como en nadadores (37,27%). En ambos géneros, la producción en la dirección medio-lateral es la más baja, siendo con respecto a la producción en la dirección antero-posterior menor en un 61,09% para el género femenino y en un 57,93 en el género masculino. Este desequilibrio en la aceleración que se produce entre las diferentes direcciones, pone de relevancia la importancia de las fuerzas que se generan fundamentalmente en las direcciones antero-posterior y superior-inferior (Maglischo, 2009).

Con respecto a las aceleraciones mínimas y máximas, existen diferencias entre las tres direcciones, siendo mayores en ambos casos las obtenidas en la dirección antero-posterior. Al calcular el rango entre los valores mínimos y máximos de cada dirección, se destaca que aquellas que tienen el mayor rango producen mayor RMS, como es el caso de la dirección antero-posterior en la que el género femenino tiene un rango de 16,73 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$) y el masculino un rango de 20,71 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$). Como en los estilos anteriores, en próximos estudios convendría analizar si esta variabilidad tiene influencia sobre la velocidad de nado, como así la tiene la variación de la velocidad intraciclo (Hahn y Krug, 1992; Manley y Atha, 1992; Takagi et al., 2004; Togashi y Nomura, 1992).

En el dominio frecuencial, mostrándose diferencias similares al estilo mariposa, estas sólo son significativas en el género femenino. Así, la variable PPF en la dirección medio-lateral en las nadadoras obtiene valores de 3,59 Hz que supone realizar 4,95 aceleraciones importantes por

cada ciclo de nado. Para el resto de direcciones (dirección antero-posterior y superior-inferior) los valores de PPF obtenidos en el género femenino representan aproximadamente tres aceleraciones importantes por cada ciclo de nado.

Posiblemente, estos valores similares en las direcciones antero-posterior y superior-inferior estén indicando un grado de coordinación entre ambos. Por otro lado, el género masculino no muestra diferencias entre direcciones, realizando aproximadamente 2,41 aceleraciones importantes por cada ciclo de nado en la dirección medio-lateral, 1,77 en la dirección antero-posterior y 2,29 en la dirección superior-inferior.

5.2.4.4. Estilo crol

En el dominio temporal, tanto el género femenino como el masculino, a diferencia que en el estilo de mariposa y braza, la mayor RMS se produce en la dirección medio-lateral. En concreto, en la dirección antero-posterior la producción de aceleración es menor tanto en nadadoras (60,31%) como en nadadores (46,95%). Sin embargo, a diferencia del estilo espalda, la producción de aceleración entre las direcciones antero-posterior y superior-inferior sólo muestra diferencias próximas al 5% en el género femenino y del 20% en el masculino. En este estilo, el desequilibrio en la aceleración que se produce entre las diferentes direcciones es el resultado de una mayor producción en la dirección medio-lateral con respecto a las otras dos direcciones. Este desequilibrio es menor entre las direcciones antero-posterior y superior-inferior en el género femenino.

Con respecto a las aceleraciones mínimas y máximas, existen diferencias entre las tres direcciones, siendo mayores en ambos casos las obtenidas en la dirección medio-lateral. Al calcular el rango entre los valores mínimos y máximos de cada dirección, se destaca que aquellas que tienen el mayor rango producen mayor RMS, como es el caso de la dirección medio-lateral en la que el género femenino tiene un rango de $24,02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ y el masculino un rango de $29,64 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. También en este estilo convendría analizar si esta variabilidad tiene influencia sobre la velocidad de nado, como así la tiene la variación de la velocidad

intraciclo (Hahn y Krug, 1992; Manley y Atha, 1992; Takagi et al., 2004; Togashi y Nomura, 1992).

En el dominio frecuencial, al igual que en el estilo espalda en ambos géneros, destaca la mayor frecuencia obtenida por la dirección antero-posterior. En este estilo tampoco corresponde con la que más RMS produce. Así la PPF en la dirección antero-posterior obtiene valores de 3,62 Hz en las nadadoras y 4,39 Hz en los nadadores, que supone realizar aproximadamente 4,51 ó 4,98 aceleraciones importantes por cada ciclo de nado respectivamente. Sin embargo, en el género femenino no existen diferencias en la variable PPF de la dirección medio-lateral, con la de la dirección superior-interior, realizando 3,92 aceleraciones importantes por cada ciclo de nado en la dirección superior-inferior y 2,60 en la dirección medio-lateral. Por el contrario, el género masculino muestra diferencias entre las direcciones superior-inferior y medio-lateral, pero no entre la dirección antero-posterior con la dirección superior-inferior, representando 3,89 y 2,23 aceleraciones importantes por cada ciclo de nado respectivamente.

De la misma manera que en el estilo espalda, la frecuencia en la que se producen las aceleraciones en la dirección antero-posterior, se muestra independiente del resto de direcciones en ambos géneros.

5.2.5. Relación de las variables cíclicas con la aceleración en función del género

El análisis de la relación entre las variables cíclicas de nado con la aceleración se realiza en un primer subapartado sobre las variables temporales, y en un segundo apartado sobre las variables frecuenciales de la aceleración.

5.2.5.1. Relación de las variables cíclicas con las variables temporales de la aceleración

Este análisis se concreta en las relaciones de las variables cíclicas de nado con la variable RMS en las tres direcciones, y con la variable InRMS, por considerar que existe colinealidad entre las variables temporales RMS, MAX y MIN en las tres direcciones.

5.2.5.1.1. Mariposa

En el estilo mariposa, la RMS se muestra como la variable que tiene una relación de mayor magnitud con respecto a la velocidad de nado. En concreto, las direcciones superior-inferior y antero-posterior obtienen relaciones de una intensidad alta y positiva, tanto en el género femenino como en el masculino ($r > 0,6$). En la dirección medio-lateral, no muestra relación con la velocidad para el género femenino, sin embargo, para el género masculino es de una intensidad media ($r = 0,44$). Además, están indicándonos que cuanto más producción de RMS en estas direcciones más velocidad de nado. Estos resultados concuerdan con los niveles de relación ($r = 0,78$) establecidos por Madera (2011) en un grupo de nadadores de ambos géneros, sin embargo permiten destacar la dependencia de esta relación con respecto al género.

Con respecto a la relación con el InRMS, ambos géneros presentan una relación de intensidad media y negativa. Esto nos está indicando que a más velocidad de nado, existe una mayor proporción de aceleración en la dirección superior-inferior con respecto a la dirección antero-posterior, que a menos velocidad de nado. Esta relación pone de relevancia por primera vez la posible influencia de este parámetro sobre la velocidad de nado.

La frecuencia de ciclo también se relaciona positivamente con la producción de aceleración en ambos géneros, como también se relaciona en otros estudios con la velocidad de nado (Madera, 2011), mientras que la longitud de ciclo muestra relaciones medias y negativas sólo en el género masculino. Esta tendencia negativa contrasta con la relación positiva entre la longitud de ciclo y la velocidad de nado ($r = 0,66$), que muestran los nadadores analizados por Madera (2011).

A modo de resumen, estas relaciones entre las variables cíclicas de nado y las variables temporales de la aceleración, estarían poniendo de relevancia (i) la tendencia que a mayor velocidad mayor producción de aceleración, (ii) que la mayor proporción de fuerza en la dirección superior-inferior con respecto a la dirección antero-posterior caracteriza los mejores nadadores de ambos géneros y (iii) que la producción de aceleración depende de una mayor frecuencia de ciclo en ambos géneros, y de una menor longitud de ciclo en el género masculino.

5.2.5.1.2. *Espalda*

En el estilo espalda, la RMS se muestra sólo con una relación positiva con respecto a la velocidad de nado en la dirección medio-lateral en ambos géneros y en la dirección antero-posterior en el género masculino. En concreto, la dirección medio-lateral obtiene una relación de una intensidad alta y positiva en el género femenino ($r=0,55$) y media en el género masculino ($r=0,34$). Esta misma variable en la dirección antero-posterior muestra relación con la velocidad sólo en el género masculino ($r=0,39$). Estas relaciones están indicándonos que cuanto más producción de RMS en estas direcciones más velocidad de nado. Con respecto a los resultados obtenidos por Madera (2011), que obtiene una relación positiva ($r=0,55$) con una muestra de ambos géneros, el presente estudio sólo caracteriza esta relación para el género masculino, y también pone de relieve por primera vez la importancia de la relación positiva entre la variable RMS en la dirección medio-lateral con la velocidad de nado.

En este estilo, el InRMS no muestra relación con la velocidad de nado, y por ello no caracteriza el rendimiento en este estilo de nado.

En este estilo, la frecuencia de ciclo se relaciona positivamente con la producción de aceleración en ambos géneros. Esta relación es semejante a la que muestra Madera (2011) entre la FC y la velocidad de nado. También la frecuencia de ciclo muestra una relación de intensidad media y negativa con el InRMS en el género femenino, mostrando que a mayor frecuencia de ciclo, mayor proporción en la producción de aceleración en la dirección medio-lateral que en la dirección antero-posterior.

Por el contrario, la longitud de ciclo sólo muestra una relación de intensidad media y negativa en la dirección medio-lateral en el género masculino, en contraposición con la relación positiva ($r=0,54$) entre la velocidad de nado y la LC (Madera, 2011). Cabe destacar que de la misma manera que en el estilo mariposa, sólo el género masculino registra una relación y en el mismo sentido entre la velocidad de nado y la RMS.

A modo de resumen, estas relaciones entre las variables cíclicas de nado y las variables temporales de la aceleración, estarían poniendo de

relevancia la tendencia a que (i) a mayor velocidad de nado mayor producción de aceleración en la dirección medio-lateral en ambos géneros, y en la dirección antero-posterior en el género masculino, (ii) que la producción de aceleración depende de una mayor frecuencia de ciclo en todas las direcciones y ambos géneros, (iii) que el InRMS sólo se relaciona con la frecuencia de ciclo en el género femenino y (iv) que en el género femenino a mayor producción de aceleración en la dirección medio-lateral menor longitud de ciclo.

5.2.5.1.3. Braza

En braza, la RMS en las direcciones superior-inferior y antero-posterior obtienen relaciones de una intensidad alta y positiva tanto en el género femenino como en el masculino ($r > 0,6$). En la dirección medio-lateral no muestra relación con la velocidad en el género masculino, sin embargo, en el género femenino es de una intensidad media ($r = 0,39$). Estas relaciones están indicándonos que cuanto más producción de RMS en estas direcciones más velocidad de nado. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Madera (2011) para una muestra de ambos géneros ($r = 0,63$). Además, como en el estilo mariposa, este análisis de la aceleración 3D permite también cuantificar la importancia de la relación con la dirección superior-inferior.

En este estilo, al igual que en el estilo espalda, el InRMS no muestra capacidad caracterizadora sobre la velocidad de nado.

La frecuencia de ciclo en braza también se relaciona positivamente con la producción de aceleración en las tres direcciones y en ambos géneros. Esta relación muestra la misma tendencia, pero de intensidad menor que la obtenida por Madera (2011) entre la FC y la velocidad de nado ($r = 0,56$).

La longitud de ciclo no muestra relaciones, excepto con una intensidad media y negativa con la RMS en la dirección antero-posterior en el género masculino. Esta diferencia entre géneros, con respecto a la relación que tiene la longitud de ciclo y la RMS en mariposa, espalda y braza, debería ser objeto de estudio en próximos trabajos.

A modo de resumen, estas relaciones entre las variables cíclicas de nado y las variables temporales de la aceleración, estarían poniendo de relevancia que (i) a mayor velocidad mayor producción de aceleración,

especialmente en las direcciones superior-inferior y antero-posterior, (ii) a mayor frecuencia de ciclo mayor producción de aceleración en las tres direcciones, y (iii) a menor longitud de ciclo mayor producción de aceleración en la dirección antero-posterior.

5.2.5.1.4. Crol

En el estilo crol, la RMS sólo muestra una relación con la velocidad de nado en el género masculino. En concreto, la dirección antero-posterior obtiene una relación de una intensidad alta y positiva ($r=0,67$). En las direcciones medio-lateral y superior-inferior presenta relaciones positivas y de intensidad media con la velocidad de nado con valores de $r=0,34$ y $r=0,40$ respectivamente. Estas relaciones están indicándonos que el género masculino cuanto más producción de RMS en estas direcciones, más velocidad de nado. Estos resultados confirman la relación positiva que encontró Madera (2011) entre la RMS y la velocidad de nado ($r=0,44$), a pesar de que la muestra estaba comprendida indistintamente por participantes de ambos géneros. Pero, confirman los resultados obtenidos por Company (2014), que en una prueba de crol diferente (intensidades submáximas con respecto a la velocidad de 1500m), tampoco encontró relación entre la RMS y la velocidad de nado para el género femenino ($r=0,002$), mientras que el género masculino obtuvo una relación positiva y de intensidad media ($r=0,33$). Por tanto, esta diferencia en la asociación entre RMS en función del género en la dirección antero-posterior, debería ser analizada en otros estudios para poder discriminar que tipo de factores antropométricos, físicos o técnicos podrían ser sus causantes.

Con respecto a la relación con InRMS, sólo el género masculino presenta una relación de intensidad media y positiva ($r=0,49$). Esto está indicando que los nadadores con mayor velocidad de nado tienen mayores valores de InRMS, o lo que es lo mismo que la proporción de aceleración en la dirección antero-posterior con respecto a la dirección medio-lateral tiende a ser mayor en los más veloces. Esta relación pone de relevancia por primera vez la posible influencia de este parámetro sobre la velocidad de nado, de la misma manera que en el estilo mariposa como ya informaron Tella et al. (2007).

En este estilo, la frecuencia de ciclo se relaciona positivamente con la producción de aceleración en ambos géneros. Esta relación no se

presenta en el trabajo de Madera (2011) entre la velocidad de nado y la frecuencia de ciclo.

Por otro lado, la longitud de ciclo no muestra relación con la RMS como así ocurre en la relación entre la LC y la velocidad de nado (Madera, 2011). Sin embargo, destaca la relación positiva y de intensidad media en nadadores entre InRMS y LC, poniendo de relevancia el interés de este índice en próximos estudios que analicen el rendimiento en crol.

A modo de resumen, en crol (i) sólo el género masculino muestra relaciones entre la velocidad de nado con la producción de aceleración, (ii) que la producción de aceleración en ambos géneros están relacionados con la frecuencia de ciclo y (iii) que la longitud de ciclo sólo se relaciona con InRMS.

5.2.5.2. Relación de las variables cíclicas con las variables frecuenciales de la aceleración

Para el análisis de las relaciones que tienen las variables cíclicas de nado con las variables temporales de la aceleración en cada estilo en función del género, sólo se va a discutir sobre la variable PPF en las tres direcciones. La variable PP y SA, aún siendo variables en el dominio frecuencial de la aceleración, son magnitudes que representan la concentración de mayor magnitud de aceleraciones en un espectro frecuencial (PP), o al sumatorio de las concentraciones de aceleraciones que se producen en todo el rango de frecuencias del espectro (SA). Así, y dado que la relación de estas variables frecuenciales con las variables cíclicas de nado, es de intensidad similar y mismo sentido que la obtenida con la variable temporal RMS, se considera excluirlas en esta discusión.

5.2.5.2.1. Mariposa

En ambos géneros, la velocidad de nado se relaciona positivamente y con una intensidad alta con la variable PPF en las dirección superior-inferior y en la antero-posterior ($r > 0,5$). Si PPF responde a la frecuencia en que se producen las principales aceleraciones por segundo, y la frecuencia de ciclo responde al número de ciclos que se realizan por minuto (c/min), la relación de la velocidad de nado con ambas (PPF y FC) debería mostrar resultados similares. De esta manera, se han obtenido relaciones entre la velocidad y la frecuencia de ciclo ($r = 0,41$) y entre la

velocidad y PPF ($r=0,33$) (Madera, 2011). Esta asociación se confirma también con los resultados obtenidos en la presente tesis entre FC y PPF, en las mismas direcciones que muestran valores positivos y altos ($r>0,85$).

También la LC muestra relaciones negativas y altas con PPF en las mismas direcciones, mostrando una tendencia contraria a la que muestran la LC y la velocidad de nado ($r=0,66$) en el trabajo de Madera (2011).

A modo de resumen, la variable frecuencial de la aceleración PPF podría caracterizar la velocidad de nado en el estilo mariposa en función de la relación obtenida con la velocidad de nado en las direcciones superior-inferior y antero-posterior.

5.2.5.2.2. Espalda

Por el contrario en espalda sólo PPF en la dirección medio-lateral en el género femenino, y en la dirección superior-inferior en el género masculino muestra relaciones positivas y de intensidad media ($r=0,4$). Esta tendencia es similar a la que se obtiene entre la velocidad de nado y la FC ($r=0,39$), y contrasta con la falta de relación entre PPF y la velocidad de nado en este estilo (Madera, 2011). En este sentido la relación entre FC y PPF obtenida en el presente estudio muestra valores positivos y altos en ambos géneros en estas direcciones ($r>0,5$).

Las relaciones negativas obtenidas entre LC y PPF en las direcciones antero-posterior y medio-lateral ($r>0,5$ en nadadoras y $r<0,5$ en nadadores), no muestran coherencia con las relaciones positivas obtenidas por Madera (2011) entre la velocidad y la longitud de ciclo ($r=0,54$) y con la frecuencia de ciclo ($r=0,39$).

En resumen, en el estilo espalda la PPF se muestra con mayores limitaciones para caracterizar a los nadadores y nadadoras más veloces, si bien podría caracterizar de manera más precisa la FC y la LC.

5.2.5.2.3. Braza

En este estilo, sólo la PPF en la dirección superior-inferior se relaciona positivamente con FC ($r=0,62$). Esta relación permitiría caracterizar la frecuencia de ciclo en el género masculino.

Así, en este estilo PPF no muestra relaciones con la velocidad de nado, como en otros estudios (Madera, 2011), con la relación entre la FC

y la velocidad de nado. Sin embargo, la relación entre la velocidad de nado y la FC muestran relación ($r=0,56$) en el trabajo de Madera (2011).

La longitud de ciclo como la FC sólo se relaciona de manera positiva con PPF en la dirección superior-inferior en el género masculino.

En resumen, PPF no muestra ninguna tendencia para poder caracterizar la velocidad de nado en el estilo braza, si bien la relación obtenida en la dirección superior-inferior con FC y LC en el género masculino, podría caracterizar estas variables cíclicas del estilo braza.

5.2.5.2.4. Crol

De la misma manera que con las variables temporales, el género femenino no presenta relaciones entre las variables frecuenciales y la velocidad de nado. Sin embargo, el género masculino además de presentar relaciones con las variables PP y SA, presentan relaciones positivas de PPF de intensidad media en las direcciones superior-inferior y medio-lateral ($r<0,5$), y de intensidad alta en la dirección antero-posterior ($r>0,5$). Estos resultados contradicen la falta de relación obtenida entre la variable PPF y la velocidad de nado por Madera (2011), si bien su muestra caracterizaba ambos géneros indistintamente.

Con respecto a las relaciones de FC y LC con PPF, sólo se observa una relación positiva de FC con PPF en la dirección superior-inferior en el género femenino y en la dirección antero-posterior en el género masculino, en ambos casos de intensidad media ($r<0,5$). De esta manera, estas relaciones también podrían informar de valores mayores o menores de FC en comparación con otros participantes.

A modo de resumen, el género masculino en crol se podría caracterizar con una mayor/menor velocidad de nado en función de los valores que presenten en la variable PPF. Así como que los valores de PPF en la dirección superior-inferior en el género femenino y en la dirección antero-posterior en el género masculino, podrían caracterizar una mayor o menor FC.

5.2.6. Análisis de regresión lineal múltiple de la velocidad

En general, las variables predictoras permiten establecer ecuaciones de predicción de la velocidad de nado en todos los estilos y género, excepto en el estilo crol para el género femenino.

Sin embargo, la proporción de variación de la velocidad explicada por la ecuación de regresión es limitada. El estilo mariposa presenta un porcentaje alto que explica la variabilidad de la velocidad. En concreto, el 58,3% de la variabilidad de la velocidad es explicada por el modelo de regresión para el género femenino y el 57% para el género masculino.

En los estilos crol y braza en el género masculino, un porcentaje moderado de la variabilidad de la velocidad (44,1% y 41,5% respectivamente) es explicada por la ecuación de regresión propuesta.

El resto de estilos que han puesto de manifiesto variables predictoras de la velocidad a través de la ecuación de regresión, han sido el estilo espalda en ambos géneros y el estilo braza en el género femenino. En concreto, la variabilidad explicada de la velocidad ha sido del 22,1% en las nadadoras de espalda, del 21% en los nadadores de espalda y del 33,6% en las nadadoras de braza.

En el estilo crol, el análisis de regresión múltiple ha puesto de manifiesto que ni las variables RMS, PPF en las tres direcciones, ni el InRMS pueden explicar la variabilidad de la velocidad en el género femenino. En este estilo tampoco se obtuvieron correlaciones bivariadas entre la velocidad con las diferentes variables temporales y frecuenciales de la aceleración. Como ya se citó anteriormente, aspectos característicos relativos a la antropometría, la coordinación o la fuerza de las nadadoras (Barbosa et al., 2010), deberían explicar la falta de capacidad de la aceleración para predecir la velocidad de nado en crol.

En los siguientes apartados se analizará qué variables explican la variabilidad de la velocidad en cada estilo y género.

5.2.6.1. Variables de la aceleración predictoras de la velocidad en mariposa

En el género femenino, la variable más importante para realizar una estimación correcta de la velocidad es PPF en la dirección antero-posterior, que se muestra en las nadadoras como la única con capacidad predictora de la velocidad, mientras que en el género masculino es PPF en la dirección superior-inferior una de las dos variables que predicen la velocidad de nado. Si bien en las dos direcciones se ha mostrado una buena correlación bivariada con la velocidad en ambos géneros ($r > 0,5$), el proceso estadístico que se establece para determinar

las variables predictoras excluye a una de ellas por colinealidad, ya que estas a su vez presentan una buena correlación entre ambas ($r=0,63$; $p=0.000$), es decir, que el proceso de cálculo para obtener la ecuación de regresión final elimina a una de ellas por considerarla como un factor de confusión. Por ello, lo relevante de esta variable frecuencial, ya sea en la dirección antero-posterior o superior-inferior, es que puede informar de la importancia de reproducir a mayor frecuencia las principales aceleraciones para nadar más rápido.

En el género masculino, la aceleración que se produce en la dirección antero-posterior (RMS_z), que es la variable más importante en la predicción de la velocidad, pone de relieve la importancia de las acciones propulsivas que desplazan a los nadadores en esa dirección. En el género femenino, RMS_z es la segunda variable con capacidad de predecir la velocidad de nado. Durante el nado de mariposa, como en el resto de estilos de nado, las acciones propulsivas son tridimensionales (Maglischo, 2009), sin embargo este análisis de regresión pone de manifiesto la importancia de las acciones propulsivas que tienen como aceleración resultante la dirección antero-posterior.

Por el contrario, la variable $InRMS$ no se incluye como variable predictora de la velocidad en ambos géneros. Aún teniendo una correlación bivariada con la velocidad de intensidad media, no se incorpora al modelo de ecuación por no incrementar por sí solas la capacidad de predicción que muestran RMS y PPF de manera conjunta.

5.2.6.2. Variables de la aceleración predictoras de la velocidad en el estilo espalda

En este estilo y en ambos géneros destaca la falta de influencia de las aceleraciones en la dirección antero-posterior para predecir la variabilidad de la velocidad de nado. La variable de producción de aceleración en la dirección medio-lateral en el género femenino (RMS_y), y la variable frecuencial en la dirección superior-inferior en el género masculino (PPF_x), son las que tienen capacidad de predicción, aunque su coeficiente de determinación permita sólo explicar el 22,1% de la variabilidad de la velocidad en las nadadoras y el 21% en los nadadores. Así, en este estilo, la mayor producción de aceleración en la dirección medio-lateral en el género femenino (RMS_y), y la mayor frecuencia en los

picos de aceleración más importantes en la dirección superior-inferior (PPF_x) en el género masculino, caracterizaría a los espaldistas más veloces en ambos géneros.

5.2.6.3. Variables de la aceleración predictoras de la velocidad en el estilo braza

Sólo una variable se muestra con capacidad predictora en el estilo braza. En ambos géneros se trata de la variable RMS, si bien para el género femenino se ha seleccionado la RMS en la dirección superior-inferior (RMS_x), y en la dirección antero-posterior (RMS_z) para el género masculino. En ambos géneros, las variables de RMS en estas dos direcciones, tiene una alta relación con la velocidad en cada género ($r > 0,7$), y además tienen una alta correlación entre ellas ($r > 0,7$; $p < 0,001$), confirmando su colinealidad. Por ello, para el cálculo de la ecuación ha sido eliminada en cada género la variable que más reducía su coeficiente de determinación, y evitar introducir un factor de confusión en la predicción. Así la selección de una de ellas, RMS_x en las nadadoras y RMS_z en los nadadores, pone de relevancia que analizando la producción de aceleración sólo en esas direcciones se puede predecir su rendimiento o velocidad, si bien las ecuaciones sólo explicarían un 33,6% de la variabilidad de la velocidad en el género femenino, y un 41,5% en el género masculino.

5.2.6.4. Variables de la aceleración predictoras de la velocidad en el estilo crol

Como ya se ha analizado en la introducción de este subapartado, las aceleraciones que produce el género femenino durante el estilo de crol no predicen la variabilidad de la velocidad de nado. Sin embargo, en el género masculino la variable RMS en la dirección antero-posterior se muestra como la única con capacidad para predecir el 44,1% la variabilidad de la velocidad de nado.

Una vez conocidas qué variables de la aceleración son importantes para predecir el rendimiento o la velocidad de nado en cada uno de los estilos, se propone integrar la evaluación de la aceleración en un proceso sistemático de control del entrenamiento-rendimiento que permita

identificar que variables técnicas, físicas y/o fisiológicas están asociadas a sus cambios.

5.2.7. Asociación tipo de espectro y estilo de nado

Los espectros frecuenciales de la aceleración representan cómo se distribuyen en el dominio frecuencial las aceleraciones que se producen en las acciones de tipo cíclico (Holmér, 1979). En esta tesis se han representado los espectros en función del número de picos de potencia que lo conforman. Así se han agrupado los espectros en función de contener en su perfil (i) un solo pico de potencia, (ii) dos picos de potencia, (iii) más de dos picos de potencia y (iv) un perfil indefinido de potencia.

Otros estudios han agrupado los espectros de manera similar. En concreto, Tella, et al. (2008) proponen tres tipos de espectro, considerando sólo a los de un solo pico de potencia, a los de dos picos de potencia y a los que no presentaban picos definidos de potencia.

También Holmér (1979) presenta en su trabajo espectros de dos picos de potencia en el nado de crol.

Si bien, en estos dos trabajos sólo se analiza el nado de crol, Madera (2011) analiza los cuatro estilos de nado. Para ello agrupa los espectros frecuenciales en dos tipos, (i) en función de contener un sólo pico de potencia o (ii) de contener más picos de potencia. Sus conclusiones muestran que el tipo de espectro es independiente del nivel de rendimiento, y por tanto, la gestión frecuencial de las aceleraciones no presenta perfiles diferenciados en función del rendimiento. Posiblemente, que el rendimiento en natación sea multifactorial (Barbosa et al., 2010), y cada nadador optimice su rendimiento ponderándolo en función de sus características técnicas, físicas o fisiológicas limite la capacidad caracterizadora de asociación de estos espectros en función del rendimiento basado en la velocidad de nado (Madera, 2011). Por ello, Madera (2011) propone que los futuros análisis de espectros frecuenciales puedan realizarse caracterizando diferentes niveles técnicos.

Esta consideración no se ha tenido en cuenta en el presente trabajo por limitaciones a la hora de concretar el diseño de investigación, y los diferentes tipos de espectro se han realizado en función de una mayor o

menor coherencia frecuencial en las diferentes acciones propulsivas, es decir, en un mayor o menor número de picos observados.

Sin embargo, esta caracterización ha permitido categorizar la asociación de espectros frecuenciales en la dirección antero-posterior por primera vez en los cuatro estilos de nado, mostrando que para cada estilo hay una distribución o porcentaje de espectros asociados a cada estilo diferente.

También es importante destacar que si bien existe una asociación de espectros dependiente del estilo de nado, cuando se ha analizado la asociación de espectros de un estilo de nado en función del género no se han encontrado diferencias. De esta manera, se puede decir que en cada estilo los espectros son independientes del género, mostrando porcentajes de tipo de espectro similares entre ambos géneros.

En concreto, en el género masculino se observa que en el estilo mariposa los porcentajes mayores de espectro frecuencial eran los de un solo pico de potencia (41%), y también en el estilo espalda el porcentaje mayor se encontraba en los espectros de un solo pico (46,2%). Por el contrario, el mayor porcentaje de espectros en el estilo braza se correspondió con aquellos que mostraban más de dos picos de potencia (87,2%). El estilo crol es el estilo que presenta una distribución más equilibrada entre los diferentes tipos de espectro, siendo los espectros indefinidos con un 30,8% los que presentan un mayor porcentaje.

Por otro lado, en el género femenino se observa que en el estilo mariposa los porcentajes mayores de espectro frecuencial eran los de un solo pico de potencia (41,7%). En los estilos de espalda y braza, los mayores porcentajes se encontraban en los espectros de más de dos picos (50% y 75% respectivamente). Por último, el estilo crol como en el género masculino, es el estilo que presenta una distribución más equilibrada entre los diferentes tipos de espectro, siendo los espectros de dos picos y de más de dos picos (30,6% para cada uno), los que presentan un mayor porcentaje.

Posiblemente, la existencia de menos picos relevantes en un estilo, como en el caso de los estilos crol y espalda en el género masculino, y el estilo mariposa en el género femenino, estén informando de una mayor coherencia en las diferentes acciones propulsivas de miembros superiores

e inferiores. Sin embargo, el rendimiento en cada estilo, que no responde exclusivamente a patrones técnicos similares entre nadadores, sea la causa de presentar diferentes tipos de espectros para cada uno de los estilos.

Esta variabilidad entre los patrones técnicos en cada uno de los estilos, así como que la aceleración fuese evaluada en una sola dirección, y que se agruparán los espectros en sólo dos tipos, limita la comparación con los espectros obtenidos por Madera (2011).

A modo de resumen, los espectros frecuenciales pueden presentar dificultades para caracterizar a grupos de nadadores en un estilo de nado, pero pueden aportar información importante de carácter individual, sobre la mayor o menor coherencia en la aplicación de las fuerzas propulsivas durante el nado en cualquier estilo, y sobre sus modificaciones en el tiempo en función de los cambios técnicos, físicos o antropométricos derivados de los procesos de entrenamiento.

De esta manera, como ya se apuntaba en trabajos anteriores (Madera, 2011), se hace necesario identificar los espectros con las características técnicas y físicas del nadador o nadadora.

5.3. Limitaciones del estudio y prospectiva de investigación

A través de esta discusión se han ido poniendo de relieve algunas limitaciones de este trabajo.

Así la principal limitación haya sido el tipo de sensor utilizado. Como ya se ha citado, las aceleraciones que se han registrado en las diferentes direcciones lo son con respecto a la posición del acelerómetro, e inferir éstas en función de las direcciones cartesianas con respecto a la dirección de nado, hubiese necesitado de sensores que integren al menos giroscopios y acelerómetros (James et al., 2011; Salazar et al., 2010). Si bien, los resultados obtenidos hay que tenerlos en cuenta en términos absolutos, es decir con referencia a la posición del acelerómetro, las relaciones establecidas con la velocidad permiten relativizar su importancia con respecto a una variable del rendimiento como es la velocidad de nado.

Sin embargo, próximos estudios deberían registrar la aceleración con un acelerómetro y calcular sus magnitudes en función de la distancia de nado. Para ello, será necesario (i) la utilización de sensores que integren al menos 1 acelerómetro 3D y un giroscopio 3D, (ii) establecer un proceso de calibración previo a los registros y (iii) desarrollar los algoritmos matemáticos necesarios para el cálculo de la aceleración en función de las direcciones de nado.

Otra limitación tiene que ver con la categorización que se ha realizado de la muestra. Qué el rendimiento en natación sea multifactorial (Barbosa et al., 2010) y que por ello, cada nadador optimiza su rendimiento en función de sus características técnicas, físicas o antropométricas exige que la muestra presente alguna serie de características sobre estos aspectos del rendimiento. Ya Madera (2011) propuso, que en futuros análisis de los espectros frecuenciales se debería categorizar diferentes niveles técnicos. Así, en una primera fase del diseño de esta tesis, se valoró incorporar algún tipo de criterio que determinase de manera cualitativa la calidad o nivel técnico de los participantes, pero los resultados de una primera evaluación atendiendo a criterios muy generales por parte de sus entrenadores no satisfizo las expectativas para incorporar esta categoría en el estudio.

Por ello, nuevos estudios deberían diseñar criterios cualitativos o cuantitativos, que puedan establecer diferentes niveles de rendimiento técnico, con el objetivo de caracterizar la aceleración con criterios técnicos.

Otra cuestión que se ha planteado en la discusión, es la limitación para deducir con exactitud la contribución de cada uno de los osciladores (i.e. miembros superiores e inferiores), en la configuración de los espectros frecuenciales. Sin embargo, aun no siendo expresamente una limitación para los resultados obtenidos, sí que en futuras investigaciones se deberían incorporar varios acelerómetros en diferentes puntos antropométricos (i.e. sacro, muñeca, tobillo), con el objetivo de analizar la coherencia en la frecuencia de las aceleraciones y en la fase en que se producen.

Los pequeños tamaños de los efectos obtenidos entre medias en el análisis entre factores $\text{variable} * \text{género} * \text{estilo}$ ($\eta^2 = 0.06$) y que los

Discusión

coeficientes de determinación obtenidos tras los análisis de regresión múltiple sean, excepto para el estilo mariposa, de $r^2 < 0,5$, sugieren repetir este tipo de análisis con el objetivo de caracterizar la aceleración en la dirección de nado con muestras de mayor tamaño y con diferentes categorías técnicas y/o de rendimiento.

También se sugiere llevar a cabo líneas de investigación, que desarrollen algoritmos matemáticos que permitan un proceso de la información en tiempo real (*feedbacks* concurrentes o inmediatos), para los nadadores y/o para sus entrenadores, sobre las variables más importantes de la aceleración durante el entrenamiento.

CONCLUSIONES

6. CONCLUSIONES

En un primer apartado se muestran las principales conclusiones de esta tesis en base a los resultados obtenidos, y en un último subapartado se interpretarán estas conclusiones para plantear aplicaciones de tipo práctico.

6.1. Sobre los resultados

Esta tesis presenta por primera vez la caracterización de la aceleración resultante de las acciones de nado en los cuatro estilos de nado en 3D.

En concreto, se ha caracterizado la aceleración en el dominio temporal y frecuencia en los cuatro estilos de nado.

- i. Con respecto a la caracterización de la aceleración por género, para cada uno de los estilos de nado:
 - El género masculino en los estilos de mariposa y crol se caracteriza por producir mayor aceleración en el dominio temporal, y es más eficiente en sus aceleraciones en la dirección antero-posterior que el género femenino.
 - En espalda, también las variables frecuenciales caracterizan al género masculino al producir con mayor frecuencia las principales aceleraciones.
 - Sin embargo, en braza, la eficiencia de las aceleraciones no caracteriza a este estilo en función el género.
- ii. Sobre la aceleración temporal y frecuencial 3D por estilos para ambos géneros:
 - La RMS en el estilo mariposa es el estilo de nado que mayor producción genera en la dirección superior-inferior y antero-posterior.
 - Los estilos de espalda y crol, son los estilos que mayor producción realizan en la dirección medio-lateral.
 - Con respecto a la eficacia propulsiva, los estilos braza y mariposa presentan índices de eficacia similares de aceleración en la dirección antero-posterior con respecto a la superior-inferior, y la

Conclusiones

espalda es más eficiente que el crol al relacionar las aceleraciones en la dirección antero-posterior con las de la dirección medio-lateral (InRMS).

- En el dominio frecuencial, la mariposa es el estilo que menores valores frecuenciales presenta de la aceleración en las direcciones superior-inferior y antero-posterior, mientras que los estilos de crol y espalda lo hacen en la dirección medio-lateral.
- iii. En general, la aceleración temporal y frecuencial 3D en función de las diferentes direcciones del acelerómetro para ambos géneros establece:
- Que la mayor producción de la aceleración y su mayor frecuencia se genera en los estilos de mariposa y braza en la dirección antero-posterior.
 - En el estilo espalda y crol, la mayor producción se da en la dirección medio-lateral, y la mayor frecuencia (PPF) en la dirección antero-posterior.
- iv. Sobre las relaciones de la velocidad de nado con los parámetros temporales y frecuenciales de la aceleración, las variables temporales y/o frecuenciales tienen una relación de intensidad media o alta, sin embargo, en el género femenino para el estilo crol no se presenta ningún tipo de relación de estas variables con la velocidad de nado.
- v. Las variables de la aceleración predictoras de la velocidad de nado son:
- En el estilo mariposa, la PPF y la RMS, ambas en la dirección antero-posterior en el género femenino; y la RMS en la dirección antero-posterior y la PPF en la dirección superior-inferior en el género masculino.
 - En el estilo espalda, la RMS en la dirección medio-lateral en el género femenino; y la variable PPF en la dirección superior-inferior en el género masculino.
 - En el estilo braza, la RMS en la dirección superior-inferior en el género femenino; y la RMS en la dirección antero-posterior en el género masculino.
 - En el estilo crol, la variable RMS en la dirección antero-posterior en el género masculino.

- vi. Hay una distribución o porcentaje de espectros asociados a cada estilo diferente, lo que permite caracterizar en diferentes tipos de espectro frecuencial a cada uno de los estilos de nado.

6.2. Aplicación práctica

El análisis realizado de la aceleración 3D en los cuatro estilos de nado, permite realizar una serie de propuestas de aplicación práctica en el ámbito del entrenamiento:

- El género masculino es más eficaz que el género femenino en la producción de aceleración y en generar aceleraciones a mayor frecuencia. Como se ha discutido previamente, esta eficacia estaría determinada por características físicas o antropométricas intrínsecas al género de los nadadores. Por el contrario, la diferencia mostrada en la eficiencia de las aceleraciones a través del InRMS estaría determinada por acciones de tipo técnico y/o coordinativo. De esta manera, las diferencias en la eficacia de las aceleraciones estarían relacionadas con mejoras de tipo físico o antropométrico, y los cambios en la eficiencia en patrones coordinativos de los estilos de nado, permitiendo a los entrenadores (i) comparar diferentes niveles de eficacia o eficiencia en nadadores o en nadadoras y (ii) asociar los cambios de aceleración que se produzcan en el tiempo con mejoras de tipo físico o técnico.
- En ambos géneros, el estilo que más aceleración produce es el estilo mariposa, y los que menos crol y espalda. Esta diferencia podría estar justificada por la mayor fluctuación de velocidades durante los nados de mariposa y braza. De esta manera y con carácter práctico, las reducciones de aceleración que se produzcan a una misma velocidad de nado, podrían informar de una mejor coordinación o eficiencia de las diferentes acciones propulsivas, permitiendo a los entrenadores (i) evaluar los cambios de eficiencia de las acciones propulsivas o de las aceleraciones resultantes y/o (ii) comparar la eficiencia de diferentes nadadores que se desplazan a una misma velocidad de nado.
- De las relaciones entre las variables de la aceleración con la velocidad de nado, así como del análisis de regresión lineal múltiple realizado, se podría inferir que tanto las variables de tipo temporal

como frecuencial están asociadas o predicen la velocidad de nado. Por ello, con el objetivo de conocer de manera individualizada qué variables de la aceleración se relacionan con el incremento de la velocidad, se sugiere incluir su análisis en el control periódico del entrenamiento o del rendimiento. Como ya se ha analizado, los nadadores y nadadoras presentan patrones cíclicos en la gestión de la aceleración, pero su gestión intraciclo muestra patrones individuales. De esta manera, que los entrenadores realicen protocolos progresivos de velocidad de nado, para relacionarla con los cambios en las variables temporales y frecuenciales de la aceleración, puede informar de si su gestión responde a las tendencias o predicciones realizadas en este estudio, y a considerar sus nuevas pautas de entrenamiento físico o técnico.

- El análisis de los espectros frecuenciales de la aceleración presenta diferentes modelos con mayor o menor importancia para cada uno de los estilos. Estos espectros están representando la gestión frecuencial con que se generan las diferentes aceleraciones durante el nado. Por ello, si los cambios de espectro que se produzcan después de procesos temporales de intervención o de entrenamiento, mostraran una mayor concentración de las aceleraciones, sería un indicador de una mejor eficiencia de las acciones propulsivas que se realizan durante el nado.

BIBLIOGRAFÍA

7. BIBLIOGRAFÍA

- Alberty, M., Sidney, M., Huot-Marchand, F., Hespel, J. M., y Pelayo, P. (2005). Intracyclic velocity variations and arm coordination during exhaustive exercise in front crawl stroke. *International Journal of Sports Medicine*, 26(6), 471-475.
- Alves, F., Costa, M., y Gomes-Pereira, J. (1998). The influence of swimming velocity on the kinematic characteristics of backstroke swimming. En H. J. Riehle y M. Vieten (Eds.), *16 International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp 104-107). Konstanz, GER.
- Arellano, R., Brown, P., Cappart, J., y Nelson, R. C. (1994). Analysis of 50-, 100-, and 200-m freestyle swimmers at the 1992 Olympic Games. *Journal of Applied Biomechanics*, 10(2), 189-199.
- Arellano, R., Domínguez-Castells, R., Pérez-Infantes, E., y Sánchez, E. (2010). Effect of stroke drills on intra-cycle hip velocity in front crawl. En P. L. Kjendlie, R. K. Stallman, y J. Cabri (Eds.), *Biomechanics and medicine in swimming XI* (pp 45-47). Oslo, NOR: Norwegian School of Sport Science.
- Arellano, R., López-Contreras, G., y Sánchez-Molina, J. A. (2003). Qualitative evaluation of technique in international Spanish junior and pre-junior swimmers: an analysis of error frequencies. En J. C. Chatard (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX* (pp 87-92). St. Etienne, FRA: University of St Etienne Publications.
- Bächlin, M., Förster, K., y Tröster, G. (2009). SwimMaster: A wearable assistant for swimmer (pp 215-224). Presentado en In 11th International conference on ubiquitous computing, Orlando, FL, New York, NY: ACM.
- Bächlin, M., y Tröster, G. (2009). Pervasive computing in swimming: A model describing acceleration data of body worn sensors in crawl swimming (pp 293-298). Presentado en Joint Conference on Pervasive Computing (JCPC), Tamsui: IEEE.

Bibliografia

- Bächlin, M., y Tröster, G. (2012). Swimming performance and technique evaluation with wearable acceleration sensors. *Pervasive and Mobile Computing*, 8, 68-81.
- Balonas, A., Gonçalves, P., Silva, J., Marinho, D. A., Moreira, P., Lima, A. B., Barbosa, T. M., et al. (2006). Time limit at the minimum velocity of vo₂max and intracyclic variation of the velocity of the centre of mass. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 6(2), 189-192.
- Barbosa, T., Costa, M., Marinho, D., Coelho, J., Moreira, M., y Silva, A. (2010). Modelling the links between young swimmers' performance: energetic and biomechanic profiles. *Pediatric Exercise Science*, 22(3), 379-391.
- Barbosa, T. M., Bragada, J. A., Reis, V. M., Marinho, D. A., Carvalho, C., y Silva, A. J. (2010). Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: updating the state of the art. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(2), 262-269.
- Barbosa, T. M., Fernandes, R. J., Keskinen, K. L., y Vilas-Boas, J. P. (2008). The influence of stroke mechanics into energy cost of elite swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 103(2), 139-149. doi:10.1007/s00421-012-2468-8
- Barbosa, T. M., Fernandes, R., Morouço, P., y Vilas-Boas, J. P. (2008). Predicting the intra-cyclic variation of the velocity of the centre of mass from segmental velocities in butterfly stroke: A pilot study. *Journal of Sports Science and Medicine*, 7(2), 201-209.
- Barbosa, T. M., Keskinen, K. L., Fernandes, R., Colaço, P., Carmo, C., y Vilas-Boas, J. P. (2005). Relationships between energetic, stroke determinants, and velocity in butterfly. *International Journal of Sports Medicine*, 26(10), 841-846.
- Barbosa, T. M., Lima, F., Portela, A., Novais, D., Machado, L., Colaço, P., Gonçalves, P., et al. (2006). Relationships between energy cost, swimming velocity and speed fluctuation in competitive swimming strokes. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 6(2), 192-194.
- Barbosa, T. M., Santos Silva, J. V., Sousa, F., y Vilas-Boas, J. P. (2002). Measurement of butterfly average resultant impulse per phase. *20*

-
- International Symposium on Biomechanics in Sports* (Vol. Cáceres, SPA, pp 35-38). Cáceres, SPA.
- Barbosa, T., Morouço, P., Jesus, S., Feitosa, W., Costa, M., Marinho, D., Silva, A., et al. (2013). The interaction between intra-cyclic variation of the velocity and mean swimming velocity in young competitive swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 34(2), 123-130.
- Bompa, T. O., y Jones, D. (1983). *Theory and methodology of training: the key to athletic performance*. Dubuque, USA: Kendall/Hunt Publishing Company.
- Bonnet, V., Ramdani, S., Azevedo-Coste, C., Fraisse, P., Mazzà, C., y Capozzo, A. (2013). Integration of Human Walking Gyroscopic Data Using Empirical Mode Decomposition. *Sensors*, 14, 370-381.
- Borg, G., Hassmén, P., y Lagerström, M. (1987). Perceived exertion related to heart rate and blood lactate during arm and leg exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(6), 679-685.
- Buchner, M., y Reischle, K. (2003). Measurements of the intracyclical acceleration in competitive swimming with a newly developed accelometer-goniometer-device. En J. Chatard (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX* (pp 57-62). St. Etienne, FRA.
- Buckwitz, R., Bähr, H., y Ungerechts, B. (2003). Direct measurement of intra-cyclic velocity fluctuations in a swimming flume. *Biomechanics and Medicine in Swimming IX* (pp 105-109). Saint Etienne, FRA: Université de Saint-Etienne.
- Callaway, A. J., Cobb, J. E., y Jones, I. (2009). A comparison of video and accelerometer based approaches applied to performance monitoring in swimming. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 4(1), 139-153.
- Capitão, F. (2005). Variações intracíclicas da velocidade na Técnica de Bruços. Faculdade de Desporto, Universidade do Porto.
- Capitão, F., Lima, A. B., Gonçalves, P., Morouço, P., Silva, M., Fernandes, R., y Vilas-Boas, J. P. (2006). Videogrametrically and velocimetrically assessed intra-cyclic variations of the velocity in

Bibliografía

- breaststroke. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 6(2), 212-214.
- Cappaert, J. M., Pease, D. L., y Troup, J. P. (1995). Three-dimensional analysis of the men's 100-m freestyle during the 1992 Olympic games. *Journal of Applied Biomechanics*, 11, 103-112.
- Castro, F., Minghelli, F., Floss, J., y Guimaraes, A. (2003). Body roll angles in front crawl swimming at different velocities. *Publications de l'Université de Saint Etienne* (pp 111-114). Presentado en Biomechanics and medicine in swimming IX.
- Cavanagh, P. R. (1976). Recent advances in instrumentation and methodology of biomechanical studies. *Biomechanics V-B* (Vol. 1, pp 399-411). Baltimore, USA: University Park Press.
- Charrier, R., Corson, N., Seifert, L., Komar, J., y Bertelle, C. (2013). Swimming like Oscillators? The Question of Modelling and Identifying Parameters. *Proceedings of STaN'2013 within ECCS'13*.
- Chatard, J. (1986). Influence des facteurs morphologiques et de l'entraînement sur le rendement énergétique. *Les messages de l'association réflexion natation. Compte rendue des Journées de Natation. Canet* (Vol. 1, pp 53-63). Canet, FRA: A.R.N.
- Chatard, J. C., Lavoie, J. M., y Lacour, J. R. (1991). Energy cost of front-crawl swimming in women. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 63(1), 12-16.
- Chollet, D. (2004). *Natacion deportiva* (2.^a ed.). Barcelona, ESP: Inde.
- Chollet, D., Chalies, S., y Chatard, J. C. (2000). A new index of coordination for the crawl: description and usefulness. *International Journal of Sports Medicine*, 21(1), 54-59.
- Chollet, D., Leblanc, H., Brabant, G., y Pedroletti, M. (2002). Evolution of breaststroke arm-leg synchronization as a function of expertise. *Expertise in Elite sport* (Vol. Paris, FRA, pp 33-36). Paris, FRA: INSEP.
- Chollet, D., Millet, G., Lerda, R., Hue, O., y Chatard, J. C. (2003). Crawl evaluation with index of coordination. En J. C. Chatard (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX* (Vol. 9, pp 115-120). St. Etienne, FRA: Université de Saint-Etienne.

-
- Chollet, D., Pelayo, P., Tourny, C., y Sidney, M. (1996). Comparative analysis of 100m and 200m events in the four strokes in top level swimmers. *Journal of Human Movement Studies*, 31(1), 25-38.
- Chollet, D., Seifert, L., Boulesteix, L., y Carter, M. (2006). Arm to leg coordination in elite butterfly swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 27(4), 322-329.
- Chollet, D., Seifert, L., Leblanc, H., Boulesteix, L., y Carter, M. (2004). Evaluation of arm-leg coordination in flat breaststroke. *International Journal of Sports Medicine*, 25(7), 486-495.
- Chollet, D., Seifert, L. M., y Carter, M. (2008). Arm coordination in elite backstroke swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 26(7), 675-682.
- Chollet, D., Tourny-Chollet, C., y Gleizes, F. (1999). Evolution of coordination in flat breaststroke in relation to velocity. *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII* (Vol. Jyväskylä, FIN, pp 29-32). Jyväskylä, FIN: Gummerus Printing.
- Company, G. (2014). *Determinació de les variacions d'acceleració intracíclics a diferents ritmes de competició en nedadors de fons d'alt rendiment*. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Costill, D. L., Kowaleski, J., Porter, D., Kirwan, J., Fielding, R., y King, D. (1985). Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *International Journal of Sports Medicine*, 6(5), 266-270. doi:10.1055/s-2008-1025849
- Costill, D. L., Maglischo, E. W., y Richardson, A. B. (1992). *Swimming* (4.^a ed.). Bodmin, UK: Blackwell Science Ltd.
- Counsilman, J. E. (1968). *The science of swimming* (2.^a ed.). Englewood Cliffs, USA: Prentice-Hall.
- Counsilman, J. E. (2007). *La Natación: Ciencia y Técnica para la preparación de campeones* (10.^a ed.). Barcelona, ESP: Hispano Europea.
- Counsilman, J. E., y Wasilak, J. (1982). The importance of hand speed and hand acceleration. En R. M. Ousley (Ed.), 1981 ASCA World Clinic Yearbook (pp 41-55). Fort Lauderdale, USA: American Swimming Coaches Association.
- Craig, A. B., Boomer, W. L., y Skehan, P. L. (1988). Patterns of velocity in competitive breaststroke swimming. En B. E. Ungerechts, K.

Bibliografía

- Wilke, y K. Reischle (Eds.), *Swimming Science V* (Vol. 18, pp 73-77). Champaign, USA: International Series on Sport Sciences. Human Kinetics Books.
- Craig, A. B., Skehan, P. L., Pawelczyk, J. A., y Boomer, W. L. (1985). Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17(6), 625-634.
- Craig, A. B., Termin, B., y Pendergast, D. R. (2006). Simultaneous recordings of velocity and video during swimming. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 6(2), 32-35.
- Craig, J. R., y Pendergast, D. R. (1979). Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Medicine and Science in Sports*, 11(3), 278-283.
- Croft, H., y Ribeiro, D. C. (2013). Developing and applying a tri-axial accelerometer sensor for measuring real time kayak cadence. *Procedia Engineering* 60 (pp 16-21).
- Cuesta-Vargas, A. I., Galán-Mercant, A., y Williams, J. M. (2010). The use of inertial sensors system for human motion analysis. *Physical Therapy Reviews*, 15(6), 462-473.
- Dadashi, F., Arami, A., Crettenand, F., Millet, G. P., Komar, J., Seifert, L., y Aminian, K. (2013). A Hidden Markov Model of the Breaststroke Swimming Temporal Phases Using Wearable Inertial Measurement Units. *IEEE International Conference on* (pp 1-6). Presentado en In Body Sensor Networks (BSN), IEEE.
- Dadashi, F., Crettenand, F., Millet, G. P., y Aminian, K. (2012). Front-Crawl Instantaneous Velocity Estimation Using a Wearable Inertial Measurement Unit. *Sensors*, 12(10), 12927-12939.
- Dadashi, F., Crettenand, F., Millet, G. P., Seifert, L., Komar, J., y Aminian, K. (2013). Automatic front-crawl temporal phase detection using adaptive filtering of inertial signals. *Journal of Sports Sciences*, 31(11), 1251-1260. doi:10.1080/02640414.2013.778420
- Dadashi, F., Millet, G. P., y Aminian, K. (2013). Gaussian process framework for pervasive estimation of swimming velocity with body-worn IMU. *Electronics Letters*, 49(1), 44-45.

-
- Dadashi, F., Millet, G. P., y Aminian, K. (2014a). A Bayesian approach for pervasive estimation of breaststroke velocity using a wearable IMU. *Pervasive and Mobile Computing*.
- Dadashi, F., Millet, G. P., y Aminian, K. (2014b). Estimation of Front-Crawl Energy Expenditure Using Wearable Inertial Measurement Units. *IEEE Sensors Journal*, 14(4).
- Davey, N., Anderson, M., y James, D. A. (2008). Validation trial of an accelerometer-based sensor platform for swimming. *Sports Technology*, 1(4-5), 202-207.
- Davey, N. P. (2004). *Acquisition and analysis of aquatic stroke data from an accelerometer based system*. Griffith University.
- Dekerle, J., Nesi, X., Lefevre, T., Depretz, S., Sidney, M., Huot-Marchand, F., y Pelayo, P. (2005). Stroking parameters in front crawl swimming and maximal lactate steady state speed. *International Journal of Sports Medicine*, 26(1), 53-58.
- Deleaval, P. (1990). Un autre regard sur la performance. *EPS*, 21, 49-53.
- FINA. (2009, 2013). Reglamento de Natación FINA. <http://educacionfisica.maimonides.edu/wp-content/uploads/2013/05/Reglamento-FINA-2009-2013.pdf>.
- Fujishima, M., y Miyashita, M. (1999). Velocity degradation caused by its fluctuation in swimming and guidelines for improvement of average velocity. *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII* (Vol. Jyväskylä, FIN, pp 41-45). Jyväskylä, FIN.
- Gatta, G., Ditroilo, M., Sisti, D., Cortesi, M., Benelli, P., y Bonifazi, M. (2008). The assessment of path linearity in swimming: a pilot study. *International Journal of Sports Medicine*, 29(12), 959-964.
- Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Kasimatis, P., Vezos, N., Boli, A., y Mavromatis, G. (2008). Reconstruction accuracy in underwater three-dimensional kinematic analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11(2), 90-95.
- Grewal, M., Weill, L., y Andrews, A. (2007). *Global positioning systems, inertial navigation, and integration*. John Wiley & Sons.
- Grimston, S. K., y Hay, J. G. (1986). Relationships among anthropometric and stroking characteristics of college swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18(1), 60-68.
-

Bibliografía

- Hagem, R. M., O'Keefe, S. G., Fickenscher, T., y Thiel, D. V. (2013). Self contained adaptable optical wireless communications system for stroke rate during swimming. *IEEE Sensors Journal*, 13(8), 3144-3151.
- Hagem, R. M., Thiel, D. V., O'Keefe, S., y Fickenscher, T. (2013). Real-time swimmers' feedback based on smart infrared (SSIR) optical wireless sensor. *Electronics Letters*, 49(5), 340-341.
- Hagem, R. M., Haelsig, T., O'Keefe, S. G., Stamm, A., Fickenscher, T., y Thiel, D. V. (2013). Second generation swimming feedback device using a wearable data processing system based on underwater visible light communication. *Procedia Engineering*, 60, 34-39.
- Hahn, A., y Krug, T. (1992). Application of knowledge gained from the coordination of partial movements in breaststroke and butterfly swimming for the development of technical training. En D. P. MacLaren, T. Reilly, y A. Lees (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI* (pp 167-171). London, UK: E & FN SPON.
- Haljand, R. (2011). <http://www.swim.ee> (Vol. 2011).
- Hay, J. (1985). *The biomechanics of sports techniques*. Prentice-Hall.
- Hellard, P., Dekerle, J., Avalos, M., Caudal, N., Knopp, M., y Hausswirth, C. (2008). Kinematic measures and stroke rate variability in elite female 200-m swimmers in the four swimming techniques: Athens 2004 Olympic semi-finalists and French National 2004 Championship semi-finalists. *Journal of Sports Sciences*, 26(1), 35-46.
- Hollander, A. P., Groot, G., Schenau, G. J. V. I., Kahman, R., y Toussaint, H. M. (1988). Contribution of the legs to propulsion in front crawl swimming. En B. E. Ungerechts, K. Wilke, y K. Reischle (Eds.), *Swimming Science V* (Vol. 5, pp 39-44). Champaign, USA: International Series on Sport Sciences. Human Kinetics Books.
- Holmér, I. (1974). Propulsive efficiency of breaststroke and freestyle swimming. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 33(2), 95-103.

-
- Holmér, I. (1979). Analysis of acceleration as a measure of swimming proficiency. En J. Terauds y E. W. Bedingfield (Eds.), *Swimming III* (pp 118-124). Baltimore, USA: International Series on Sport Sciences. University Park Press.
- Hou, P. (2012). The study on swimming exercises based on 3D accelerometer data analysis. *International Journal of Advancements in Computing Technology*, 4(21), 239-245.
- Ichikawa, H., Ohgi, Y., y Miyaji, C. (1999). Analysis of stroke of the freestyle swimming using accelerometer. En K. L. Keskinen, P. . Komi, y A. P. Hollander (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII* (Vol. 8, pp 159-164). Jyväskylä, FIN: Gummerus Printing.
- Ichikawa, H., Ohgi, Y., Miyaji, C., y Nomura, T. (2002). Application of a mathematical model of arm motion in front crawl swimming to kinematical analysis using an accelerometer. *Engineering of Sport*, 4, 644-650.
- Invernizzi, P. L., Scurati, R., Michielon, G., y Pizzini, G. (2006). Perfecting of the crawl in non-skilled swimmers: comparison between the drag reduction and improvement of the propulsion. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 6(2), 225-227.
- James, D. A., Burkett, B., y Thiel, D. V. (2011). An unobtrusive swimming monitoring system for recreational and elite performance monitoring. *Procedia Engineering*, 13, 113-119.
- James, D. A., Moritz, E. F., y Haake, S. (2006). The application of inertial sensors in elite sports monitoring. *The Engineering of Sport*, 6, 289-294.
- Jensen, R., y McIlwain, J. (1979). Modeling of lower extremity forces in the dolphin kick. *Swimming III* (Vol. Baltimore, USA, pp 137-147). Baltimore, USA: International Series on Sport Sciences. University Park Press.
- De Jesus, K. (2008). Análise das variações intracíclicas da velocidade horizontal do centro de gravidade ao longo da distância dos 100 m mariposa. Estudo realizado em três análises das variações intracíclicas da velocidade horizontal do centro de gravidade . Faculdade de Desporto, Universidade do Porto.
-

Bibliografía

- Jidovtseff, B., Croisier, J. L., Demoulin, C., y Crielaard, J. M. (2008). Évaluation inertielle: état de la question et perspectives. *Science & Sports*, 23(3), 107-117.
- Kennedy, P., Brown, P., Chengalur, S. N., y Nelson, R. C. (1990). Analysis of male and female Olympic swimmer's in the 100-meter events. *International Journal of Sports Biomechanics*, 6, 187-197.
- Khoo, H., Lee, J. B., Senanayake, A. S., y Wilson, D. (2009). System for determining within-stroke variations of speed in swimming (SWiSS). En IEEE (Ed.), *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics* (pp 1927-1932). Singapore, SIN: IEEE.
- Kilani, H., y Zeidan, W. (2004). A kinematic comparison between the semi-finals and the finals for 50m swimming races of the four strokes. En M. Lamontagne, D. Gordon, E. Robertson, y H. Sveistrup (Eds.), *22 International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp 125-128). Ottawa, CAN: Faculty of Health Sciences University of Ottawa.
- Lavoie, J. M., y Montpetit, R. R. (1986). Applied physiology of swimming. *Sports Medicine*, 3(3), 165-189.
- Le Sage, T., Bindel, A., Conway, P., Justham, L. M., Slawson, S. E., y West, A. A. (2011). Embedded programming and realtime signal processing of swimming strokes. *Sports Engineering*, 14(1), 1-14.
- Le Sage, T., Bindel, A., Conway, P., Justham, L. M., Slawson, S., y West, A. A. (2010). Development of a real time system for monitoring of swimming performance. *Procedia Engineering*, 2(2), 2707-2712.
- Le Sage, T., Bindel, A., Conway, P., Slawson, S., y West, A. (2011). Development of a Wireless Sensor Network for Embedded Monitoring of Human Motion in a Harsh Environment. *IEEE 3rd International Conference on* (pp 112-115). Presentado en Communication Software and Networks (ICCSN), 2011, IEEE.
- Leblanc, H., Seifert, L., Tourny-Chollet, C., y Chollet, D. (2007). Intra-cyclic distance per stroke phase, velocity fluctuations and acceleration time ratio of a breaststroker's hip: a comparison between elite and nonelite swimmers at different race paces.

-
- International Journal of Sports Medicine*, 28(2), 140-147.
doi:10.1055/s-2006-924205
- Lee, J. B., Burkett, B. J., Thiel, D. V., y James, D. A. (2011). Inertial sensor, 3D and 2D assessment of stroke phases in freestyle swimming. *Procedia Engineering*, 13, 148-153.
- Lerda, R., y Cardelli, C. (2003). Analysis of stroke organization in the backstroke as a function of skill. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 74(2), 215-219.
- Liu, Q., Hay, J., y Andrews, J. (2010). Body roll and hand path in freestyle swimming: an experimental study. *JAB*, 9(3).
- Llana, S., y Pérez-Soriano, P. (2011). Historia de la Natación I: desde la Prehistoria hasta la Edad Media. *Publicación del Comité Olímpico Español*, 4(Nº2), 51-84.
- Llosa, J., Vilajosana, X., Navarro, N., Surinach, E., y Marquès, J. M. (2009). REMOTE, a wireless sensor network based system to monitor rowing performance. *Sensors*, 9(9), 7069-7082.
- Madera, J. (2011). *Análisis en el dominio temporal y frecuencial de la aceleración en los cuatro estilos de competición de natación*. Valencia: Universidad de Valencia.
- Magalhaes, F. A., Vannozzi, G., Gatta, G., y Fantozzi, S. (2014). Wearable inertial sensors in swimming motion analysis: a systematic review. *Journal of Sports Sciences*.
- Maglischo, E. W. (1982). *Swimming faster: a comprehensive guide to the science of swimming*. Mountain View, USA: Mayfield.
- Maglischo, E. W. (1987). *Nager plus vite*. Morzine, FRA: Editions FNMNS.
- Maglischo, E. W. (1993). *Swimming even faster* (2.^a ed.). Mountain View, USA: Mayfield Pub. Co.
- Maglischo, E. W. (2009). *Natacion. Técnica, Entrenamiento y Competición* (1^a ed.). Badalona, ESP: Paidotribo.
- Manley, P. K., y Atha, J. (1992). Intra-stroke velocity fluctuations in paced breaststroke swimming. *Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI* (pp 151-159). London, UK: E & FN SPON.
-

Bibliografía

- Mariani, B., Hoskovec, C., Rochat, S., Büla, C., Penders, J., y Aminian, K. (2010). 3D gait assessment in young and elderly subjects using foot-worn inertial sensors. *Journal of Biomechanics*, 43(15), 2999-3006.
- Marshall, J. (2013). Smartphone sensing for distributed swim stroke coaching and research (pp 1413-1416). Presentado en Proceedings of the 2013 ACM conference on Pervasive and ubiquitous computing adjunct publication, ACM.
- Mason, B. R., y Cossor, J. (2000). What can we learn from competition analysis at the 1999 pan pacific swimming championships? En Y. Hong, D. P. Johns, y R. H. Sanders (Eds.), *18 International Symposium on Biomechanics in Sports* (Vol. 1, pp 75-82). Hong Kong: The Chinese University of Hong Kong.
- Mason, B. R., Tong, Z., y Richards, R. (1992). Propulsion in the butterfly stroke. En D. P. MacLaren, T. Reilly, y A. Lees (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI* (pp 81-86). London, UK: E & FN SPON.
- McLean, S. P., y Hinrichs, R. N. (1998). Sex differences in the centre of buoyancy location of competitive swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 16(4), 373-383.
- Mercadé, J. J., Arellano, R., y Soto, V. M. (2002). Modificaciones de curva velocidad-tiempo de la cadera en el estilo braza a distintas velocidades de nado. *Biomecánica*, 10(2), 105-110.
- Miller, D. I. (1975). Biomechanics of swimming. *Exercise and sport sciences reviews*, 3(1), 219-248.
- Morales, E. (2006). *Estudio de la evolución de las características antropométricas, condicionales y técnicas de nadadores andaluces de grupos de edad*. Granada, SPA: Universidad de Granada.
- Morales, E., Arellano, R., Femia, P., y Mercadé, J. J. (2010). Regression analysis model applied to age-group swimmers: study of stroke rate, stroke length and stroke index. En P. L. Kjendlie, R. K. Stallman, y J. Cabri (Eds.), *XI International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming* (pp 127-129). Oslo, NOR: Norwegian School of Sport Science.

-
- Morouço, P. (2009). *Force production in tethered swimming and its relationship with performance. A new approach to evaluate the anaerobic capacity of swimmers?* Porto, POR: University of Porto, Faculty of Sport.
- Morouço, P., Lima, A. B., y Vilas-Boas, J. P. (2005). Medição das variações intracíclicas de velocidade de um nadador na técnica de mariposa. *Livro de resumos do Encontro* (Vol. Martinchel, POR, pp 209-213).
- Navarro, F. (1996). *Relación de la concentración de lactato en sangre con los parámetros cinemáticos en nadadores de alto rendimiento*. Madrid, SPA: E.T.S. De Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid.
- Nordsborg, N., Espinosa, H., y Thiel, D. (2014). Estimating energy expenditure during front crawl swimming using accelerometers. *Procedia Engineering*, 72, 132-137.
- Ohgi, Y. (2002). Microcomputer-based acceleration sensor device for sports biomechanics-stroke evaluation by using swimmer's wrist acceleration. En IEEE (Ed.), *Sensors, 2002. Proceedings of IEEE* (Vol. 1, pp 699-704). Orlando, USA: IEEE.
- Ohgi, Y., Ichikawa, H., Homma, M., y Miyaji, C. (2003). Stroke phase discrimination in breaststroke swimming using a tri-axial acceleration sensor device. *Sports Engineering*, 6(2), 113-123.
- Ohgi, Y., Ichikawa, H., y Miyaji, C. (1999). Characteristics of the forearm acceleration in swimming. *Biomechanics and Medicine in Swimming*, 8, 77-82.
- Ohgi, Y., Yasumura, M., Ichikawa, H., y Miyaji, C. (2000). Analysis of stroke technique using acceleration sensor IC in freestyle swimming. *The engineering of sport: Research, development and innovation* (pp 503-511). Wiley-Blackwell.
- Pai, Y. C., Hay, J. G., Wilson, B. D., y Thayer, A. L. (1984). Stroking techniques of elite swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 2(3), 225-239.
- Pansiot, J., Lo, B., y Guang-Zhong, Y. (2010). Swimming stroke kinematic analysis with BSN. Presentado en International Conference on Body Sensor Networks (BSN), Singapore: IEEE.

Bibliografía

- Pedersen, T., y Kjendlie, P. L. (2006). The effect of the breathing action on velocity in front crawl sprinting. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 6(1), 75-79.
- Pelayo, P., y Alberty, M. (2009). The history of swimming research. En Seifert, D. Chollet, I. Mujika (Eds.), *World book swimming*. Nova Science Publishers. New York, USA.
- Pelayo, P., Sidney, M., Kherif, T., Chollet, D., y Tourny, C. (1996). Stroking characteristics in freestyle swimming and relationships with anthropometric characteristics. *Journal of Applied Biomechanics*, 12(2), 197-206.
- Pelayo, P., Sidney, M., Weissland, T., Carpentier, C., y Kherif, T. (1995). Variations de la fréquence de nage spontanée en natation. *Congrès ACAPS 6 à Pointe à Pitre* (Vol. Guadeloupe, GUY, pp 113-114). Pointe-à-Pitre (Guadeloupe) - UFR STAPS des Antilles et de la Guyane.
- Pelayo, P., Wille, F., Sidney, M., Berthoin, S., y Lavoie, J. M. (1997). Swimming performances and stroking parameters in non skilled grammar school pupils: relation with age, gender and some anthropometric characteristics. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 37(3), 187-193.
- Pelham, T. W., Robinson, M. G., y Holt, L. E. (2006). Assessing human movement with accelerometry. *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, 27(1), 21-28.
- Pfau, T., Witte, T. H., y Wilson, A. M. (2005). A method for deriving displacement data during cyclical movement using an inertial sensor. *Journal of Experimental Biology*, 208(13), 2503-2514.
- Pollock, D. (1999). *A handbook of time-series analysis, signal processing and dynamics* (1.^a ed.). London, UK: Academic Press.
- Psycharakis, S. G., Naemi, R., Connaboy, C., McCabe, C., y Sanders, R. H. (2010). Three-dimensional analysis of intracycle velocity fluctuations in frontcrawl swimming. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 20(1), 128-135.
- Psycharakis, S. G., y Sanders, R. H. (2009). Validity of the use of a fixed point for intracycle velocity calculations in swimming. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(2), 262-265.

-
- Psycharakis, S. G., y Sanders, R. H. (2010). Body roll in swimming: A review. *Journal of Sports Sciences*, 28(3), 229-236. doi:10.1080/02640410903508847
- Reischle, K. (1993). *Biomecánica de la natación* (1.^a ed.). Madrid, SPA: Gymnos.
- Salazar, A. J., Silva, A. S., Borges, C. M., y Correia, M. V. (2010). An initial experience in Wearable Monitoring Sport Systems. *10th IEEE International Conference on* (pp 1-4). Presentado en In Information Technology and Applications in Biomedicine (ITAB), IEEE.
- Sánchez-Molina, J. A., y Arellano, R. (2002). Stroke index values according to level, gender, swimming style and event race distance. *20 International Symposium on Biomechanics in Sports* (Vol. Cáceres, SPA, pp 56-59). Cáceres, ESP: Universidad de Extremadura.
- Sanders, R. H., Cappaert, J. M., y Devlin, R. K. (1995). Wave characteristics of butterfly swimming. *Journal of Biomechanics*, 28(1), 9-16.
- Schleihauf, R. E., Higgins, J. R., Hinrichs, R. N., Luedtke, D., Maglischo, C. W., Maglischo, E. W., y Thayer, A. (1988). Propulsive techniques: front crawl stroke, butterfly, backstroke, and breaststroke. En B. E. Ungerechts, K. Wilke, y K. Reischle (Eds.), *Swimming Science V* (pp 53-59). Champaign, USA: International Series on Sport Sciences. Human Kinetics Books.
- Schnitzler, C., Ernwein, V., Seifert, L., y Chollet, D. (2006). Use of index of coordination to assess optimal adaptation: a case study. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 6(2), 257-259.
- Schnitzler, C., Seifert, L., Alberty, M., y Chollet, D. (2010). Hip Velocity and Arm Coordination in Front Crawl Swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 31(12), 875-881.
- Schnitzler, C., Seifert, L., Ernwein, V., y Chollet, D. (2008). Arm coordination adaptations assessment in swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 29(6), 480-486.

Bibliografía

- Seifert, L., Boulesteix, L., y Chollet, D. (2004). Effect of gender on the adaptation of arm coordination in front crawl. *International Journal of Sports Medicine*, 25(3), 217-223.
- Seifert, L., Boulesteix, L., Chollet, D., y Vilas-Boas, J. P. (2008). Differences in spatial-temporal parameters and arm-leg coordination in butterfly stroke as a function of race pace, skill and gender. *Human Movement Science*, 27(1), 96-111.
- Seifert, L., y Chollet, D. (2005). A new index of flat breaststroke propulsion: A comparison of elite men and women. *Journal of Sports Sciences*, 23(3), 309-320.
- Seifert, L., y Chollet, D. (2008). Inter-limb coordination and constraints in swimming: a review. *Physical Activity and Children: New Research* (Vol. 1, pp 65-93). Nova Biomedical.
- Seifert, L., Chollet, D., y Chatard, J. C. (2007). Kinematic changes during a 100-m front crawl: effects of performance level and gender. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(10), 1784-1793.
- Seifert, L., Chollet, D., y Rouard, A. (2007). Swimming constraints and arm coordination. *Human Movement Science*, 26(1), 68-86.
- Seifert, L., Delignieres, D., Boulesteix, L., y Chollet, D. (2007). Effect of expertise on butterfly stroke coordination. *Journal of Sports Sciences*, 25(2), 131-141.
- Seifert, L., L'Hermette, M., Komar, J., Orth, D., Mell, F., Merriaux, P., y Davids, K. (2014). Pattern Recognition in Cyclic and Discrete Measurement Units. *Procedia Engineering*, 72, 196-201.
- Siirtola, P., Laurinen, P., Roning, J., y Kinnunen, H. (2011). Efficient accelerometer-based swimming exercise tracking (pp 156-161). Presentado en 2011 IEEE Symposium on Computational Intelligence and Data Mining (CIDM), Paris: IEEE.
- Silva, A. S., Salazar, A. J., Borges, C. M., y Correia, M. V. (2013). Wearable Monitoring Unit for Swimming Performance Analysis (pp 80-93). Presentado en Biomedical Engineering Systems and Technologies, Springer Berlin Heidelberg.
- Slawson, S., Conway, P., Justham, L., Le Sage, T., y West, A. (2010). Dynamic signature for tumble turn performance in swimming. *Procedia Engineering*, 2(2), 3391-3396.

-
- Slawson, S. E., Justham, L. M., West, A. A., Conway, P. P., Caine, M. P., y Harrison, R. (2008). Accelerometer profile recognition of swimming strokes. *The Engineering of Sport* 7, 81-87.
- Smith, D. J., Norris, S. R., y Hogg, J. M. (2002). Performance evaluation of swimmers: scientific tools. *Sports Medicine*, 32(9), 539-554.
- Stamm, A., James, D. A., Burkett, B. B., Hagem, R. M., y Thiel, D. V. (2013). Determining maximum push-off velocity in swimming using accelerometers. *Procedia Engineering*, 60 (pp 201-207).
- Stamm, A., James, D. A., y Thiel, D. V. (2013). Velocity profiling using inertial sensors for freestyle swimming. *Sports Engineering*, 16(1), 1-11.
- Stamm, A., Thiel, D. V., Burkett, B., y James, D. A. (2011). Towards determining absolute velocity of freestyle swimming using 3-axis accelerometers. *Procedia Engineering*, 13, 120-125.
- Takagi, H., Sugimoto, S., Nishijima, N., y Wilson, B. (2004). Differences in stroke phases, arm-leg coordination and velocity fluctuation due to event, gender and performance level in breaststroke. *Sports Biomechanics*, 3(1), 15-27.
- Tan, W., Wilson, A. M., y Lowe, J. (2008). Measurement of stride parameters using a wearable GPS and inertial measurement unit. *Journal of Biomechanics*, 41(7), 1398-1406.
- Tella, V., Benavent, J., Madera, J., Jordá, J., y González, L. M. (2007). La aceleración intra-ciclo: Su aplicación en la evaluación de la técnica en natación. En R. Arellano, J. A. Sánchez-Molina, F. Navarro, E. Morales, y G. López (Eds.), *Swimming Science Seminar I (CD)*. Granada, SPA: Universidad de Granada.
- Tella, V., Llana, S., Madera, J., y Navarro, F. (2002). Evolution of anthropometric and kinematic parameters in young swimmers: a longitudinal study (pp 64-67). Presentado en 20 International Symposium on Biomechanics in Sports, Cáceres, ESP.
- Tella, V., Llana, S., Madera, J., y Navarro, F. (2003). Evolution of anthropometric and kinematic parameters in young breaststroke, backstroke and butterfly swimmers. *Biomechanics and Medicine in Swimming IX* (pp 433-438). St. Etienne, FRA.
-

Bibliografía

- Tella, V., Llop, F., Jordá, J., Madera, J., y Benavent, J. (2006). Intracycle speed and coordination vs fatigue in swimming. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 6(2), 105-107.
- Tella, V., Toca-Herrera, J. L., Gallach, J. E., Benavent, J., González, L. M., y Arellano, R. (2008). Effect of fatigue on the intra-cycle acceleration in front crawl swimming: A time-frequency analysis. *Journal of Biomechanics*, 41(1), 86-92. doi:10.1016/j.jbiomech.2007.07.012
- Togashi, T., y Nomura, T. (1992). A biomechanical analysis of the novice swimmer using the butterfly stroke. En D. P. MacLaren, T. Reilly, y A. Lees (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI* (pp 87-90). London, UK: E & FN SPON.
- Tourny, C., Chollet, D., Micallef, J. P., y Macabies, J. (1992). Comparative analysis of studies of speed variations within a breaststroke cycle. En D. P. MacLaren, T. Reilly, y A. Lees (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI* (pp 161-166). London, UK: E & FN SPON.
- Toussaint, H. M., Janssen, T., y Kluft, M. (1991). Effect of propelling surface size on the mechanics and energetics of front crawl swimming. *Journal of Biomechanics*, 24(3-4), 205-211.
- Ungerechts, B. E. (1988). The relation of peak body acceleration to phases of movements in swimming. En B. E. Ungerechts, J. Wilke, y K. Reischle (Eds.), *Swimming Science V* (pp 61-66). Champaign, USA: International Series on Sport Sciences. Human Kinetics Books.
- Vannozzi, G., Donati, M., Gatta, G., y Cappozzo, A. (2010). Analysis of swim turning, underwater gliding and stroke resumption phases in top division swimmers using a wearable inertial sensor device. En P. L. Kjendlie, R. K. Stallman, y J. Cabri (Eds.), *XI International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming* (pp 178-180). Oslo, NOR: Norwegian School of Sport Science.
- Vezos, N., Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Kasimatis, P., Christoforidis, C., y Mavromatis, G. (2007). Underwater stroke kinematics during breathing and breath-holding front crawl swimming. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6, 58-62.

-
- Vilas-Boas, J. P. (1992). A photo—optical method for the acquisition of biomechanical data in swimmers. *ISBS'92 Proceedings* (Vol. Milan, ITA, pp 142-145). Renato Rodano, Giancarlo Ferrigno, Giorgio C. Santambrogio.
- Vilas-Boas, J. P. (1996). Speed fluctuations and energy cost of different breaststroke techniques. En J. P. Troup, A. P. Hollander, D. Strasse, S. W. Trappe, J. Cappaert, y T. A. Trappe (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VII* (Vol. 7, pp 167-171). London, UK: E & FN SPON.
- Vilas-Boas, J. P. (1997). Estado actual da investigação científica sobre técnica desportiva em natação. *17º Congreso da Asociacion Española de Técnicos de Natación y 4ª Congreso Ibérico* (Vol. Camargo, ESP, pp 1-44). Cantabria, SPA.
- Wakayoshi, K., Yoshida, T., Ikuta, Y., Mutoh, Y., y Miyashita, M. (1993). Adaptations to six months of aerobic swim training, changes in velocity, stroke rate, stroke length and blood lactate. *International Journal of Sports Medicine*, *14*(7), 368-372.
- Williams, S., y Kendall, L. (2007). A profile of sports science research (1983-2003). *Journal of Science and Medicine in Sport*, *10*(4), 193-200.
- Xu-Hong, L., y Hong-Hui, Y. (2006). Comparison of some biomechanic parameters of breaststroke swimming in flume and swimming pool. *24 International Symposium on Biomechanics in Sports* (Vol. Salzburg, AUT, pp 254-257). Salzburg, AUT.
- Zamparo, P. (2006). Effects of age and gender on the propelling efficiency of the arm stroke. *European Journal of Applied Physiology*, *97*(1), 52-58.
- Zamparo, P., Lazzer, S., Antoniazzi, C., Cedolin, S., Avon, R., y Lesa, C. (2008). The interplay between propelling efficiency, hydrodynamic position and energy cost of front crawl in 8 to 19-year-old swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, *104*(4), 689-699. doi:10.1007/s00421-008-0822-7
- Zhang, Y., Beenakker, K., Butala, P., Lin, C., Little, T., Maier, A., Stijntjes, M., et al. (2012). Monitoring walking and cycling of middle-aged to older community dwellers using wireless wearable

Bibliografía

accelerometers. *In Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)* (pp 158-161). Presentado en 2012 Annual International Conference of the IEEE, IEEE.

ANEXOS

ANEXO 1

Resumen de los parámetros reglamentarios segmentados por estilo en base a la FINA, de las fases cíclicas de nado

Estilo	Posición cuerpo	Acción piernas	Acción brazos	Coordinación
<u>Mariposa</u>	N.8.1 ... el cuerpo deberá mantenerse sobre el pecho. La patada hacia los lados bajo el agua está permitida.	N.8.3 Todos los movimientos de las piernas hacia arriba y abajo serán simultáneos. ... Un movimiento de patada de braza no está permitido.	N.8.2 Ambos brazos deberán ser proyectados juntos a la vez hacia adelante, por encima de la superficie el agua, y llevarse hacia atrás simultáneamente durante toda la carrera.	Ninguna consideración
<u>Espalda</u>	N.6.2. ... se impulsará y nadará sobre su espalda durante todo el recorrido, excepto cuando ejecute un viraje. La posición normal de la espalda puede incluir un movimiento de balanceo del cuerpo hasta, sin llegar, a los 90 grados desde la horizontal.			
<u>Braza</u>	N.7.4. Durante cada ciclo completo, alguna parte de la cabeza del nadador romperá la superficie del agua.	N.7.5. Los pies deberán girarse hacia afuera durante la parte propulsiva de la patada. No estarán permitidos los movimientos alternativos o de patada de mariposa.	N.7.3. Las manos deberán ser impulsadas juntas hacia adelante, desde el pecho, ya sea por encima, por debajo o en la superficie del agua. ... Las manos se llevarán hacia atrás, por encima o por debajo de la superficie del agua. Las manos no se llevarán más atrás de la línea de la cadera, excepto durante la primera brazada después de la salida y cada viraje.	N.7.2. ... Desde la salida y durante toda la carrera el ciclo del estilo debe ser una brazada y una patada en ese orden. Todos los movimientos de los brazos serán simultáneos y en el mismo plano horizontal, sin movimientos alternativos.
<u>Libre</u>				N.5.1. Estilo libre significa que, en una prueba así llamada, el nadador puede nadar cualquier estilo, excepto en las pruebas de estilos individual o por equipos, en las que estilo libre significa cualquier estilo que no sea espalda, braza o mariposa.

ANEXO 2

ACTIVIDAD: Análisis de la aceleración 3D en los cuatro estilos de nado
RESPONSABLE: Jorge Mateu Sanz

Con motivo de la realización de un estudio sobre la aceleración que se produce durante el nado en natación, los próximos días se realizarán una serie de pruebas. Estas pruebas son:

- Mediciones antropométricas (talla y peso).
- Medición de la aceleración de nado. Para esta medición se realizarán cuatro repeticiones de 25 metros saliendo desde el agua, y con un descanso mínimo de 15 minutos entre repeticiones.

Los registros obtenidos se utilizarán con carácter anónimo para la realización de un tesis doctoral de la Universidad de Valencia.

Si estás de acuerdo en participar en el estudio, te solicito que firmes esta autorización. En el caso de ser menor de edad, deberá firmarla tus padres o tutores.

<p>D./Dña. _____ _____, con D.N.I. _____, siendo mayor de edad, estoy de acuerdo en participar en la actividad “Análisis de la aceleración 3D en los cuatro estilos de nado”</p> <p style="text-align: right;">Fecha y Firma</p>	<p>D./Dña. _____ _____, con D.N.I. _____ como padre/madre/tutor de D./Dña. _____ _____ autorizo a participar en la actividad “Análisis de la aceleración 3D en los cuatro estilos de nado”</p> <p style="text-align: right;">Fecha y Firma</p>
--	--

ANEXO 3

Función específica programada en Matlab® 7.1 (Mathworks Inc., Natick, EE.UU.)

```

#####funcion aceleracion#####
cd('C:\investigacion');
Fs=1000
tiempo=1/Fs
filtro=FMMG
nsujetos=2 %numero de sujetos en ese estilo
estilo=2 %1=crol; 2=espalda; 3=braza; 4=mariposa
comienzo=xlsread('comienzo.xls')
for pp=1:nsujetos
cd('C:\Users\IVEF\investigacion\espalda');
numero2=' ';
numero2=num2str(pp);
extension='.asc'
numero2=strcat(numero2,extension)
importfile1('1.asc')
datos=data
datos=datos(:,2:4)
%datos=datos(comienzo(pp,1):comienzo(pp,1)+(6*Fs),2:4)
figure;
for rr=1:3
subplot(3,1,rr);plot(datos(:,rr));
end
cortes=ginput(2)
if estilo==1 | estilo==3 | estilo ==4
[amplitud,posicion]=max(datos(cortes(1,1):cortes(2,1)))
end
if estilo==2
[amplitud,posicion]=min(datos(cortes(1,1):cortes(2,1)))
end
datos=datos(cortes(1,1)+posicion:cortes(1,1)+(posicion+(Fs*
6)), :)
nombre=num2str(pp);
save(nombre,'datos')
end
%{
####velocidad en m/s####

```

```

datos=estilo./100
promediovelocidad(pp,yy)=mean(datos)
%%%%aceleracion m/s^2%%
datosa=datos(1:(length(datos)-1),:)
datosb=datos(2:length(datos),:)
aceleraciones=datosb-datosa
aceleraciones=aceleraciones./tiempo
aceleraciones=filter(filtro,aceleraciones) %%filtro de las
aceleraciones a orden 4 [0-10]
%%%%calculos de la aceleracion en el dominio
temporal%%
nA=length(aceleraciones);
bin=20; %tamao de
bloques
numSegmentA=(nA-mod(nA,bin))/bin;
Abin=aceleraciones(1:nA-mod(nA,bin),:);
ini=1;
fin=bin;
for i=1,
for t=1:numSegmentA,
fin=bin*t;
rmsA(t,i)= norm(Abin(ini:fin,i))/sqrt(bin);
ini=ini+bin;
end
ini=1;
end
promediosRMS(pp,yy)=mean(rmsA)
minimoAcelera(pp,yy)=min(aceleraciones)
maximoAcelera(pp,yy)=max(aceleraciones)
%%%%calculos de la aceleracion en el dominio
frecuencial%%
bloque=256
h = spectrum.welch('Hamming',bloque,0); %
Instantiate a welch object.
Aespectro= aceleraciones; %tomamos
las dos seales ya filtrada
%hacemos el psd de la aceleracion
HpsdA=psd(h, Aespectro,'Fs',Fs);
grafPromedioAFreq=HpsdA.Frecuencias;
grafPromedioAData=HpsdA.Data;
%%%%estadisticos frecuencia%%

```

```
[PeakPoweruno, posuno]=max(grafPromedioAData);
%buscamos los maximos
PeakPowerFrequno=grafPromedioAFreq(posuno)           %...la
frecuencia asociada
AreaSpectrumuno = sum(grafPromedioAData)
promedioespectrouno=avgpower(HpsdA)
PeakPower(pp,yy)=PeakPoweruno
PeakPowerFreq(pp,yy)=PeakPowerFrequno
AreaSpectrum(pp,yy)=AreaSpectrumuno
promedioespectro(pp,yy)=promedioespectrouno
if yy==2
plot (grafPromedioAFreq,grafPromedioAData); xlim([0 20]);
hold on
end
cd('C:\Users\resultados')
saveas(gcf, num2str(pp), 'pdf')
end
help
%ficheroresultados=[promediosRMS           minimoAcelera
maximoAcelera PeakPower PeakPowerFreq
AreaSpectrum promedioespectro promediovelocidad]
%cd('C:\Users\resultados')
%xlswrite('ficheroresultados',ficheroresultados)
%}
```