



Universidad de Concepción
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELÉCTRICA

IMAGENOLOGÍA INFRARROJA PARA ASISTIR LA EJECUCIÓN DE ACCIONES EN EL LEVANTAMIENTO DE PESAS

Laura Antonieta Viafora Reyes

Tesis presentada a la Facultad de ingeniería de la Universidad de Concepción
para optar al grado académico de Doctor en Ciencias de la ingeniería con
Mención en en ingeniería Eléctrica

Agosto 2023
Concepción, Chile

Profesor Guía: PhD. Sr. Sergio Torres Inostroza

© 2023, Laura Antonieta Viafora Reyes

Ninguna parte de esta tesis puede reproducirse o transmitirse bajo ninguna forma o por ningún medio o procedimiento, sin permiso por escrito del autor.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento

A los amantes del deporte y las ciencias

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a la beca ANID DOCTORAL SCHOLARSHIP 21181702 que me ha permitido expandir mis estudios e investigación.

A la Universidad de Concepción, mi alma mater, por entregarme todo su conocimiento.

A la familia deportiva de halterofilia del Gran Concepción, en especial al Profesor Cristian Cerro, al club Club de halterofila vulcanoz Cielo Tronador”.

Y por ultimo, a todos quienes me han apoyado en este camino para llegar aquí.

Resumen

En este trabajo se aplica la técnica de “evaluación de calidad acción” y “estimación de pose” en videos infrarrojos (IR) sobre levantadores de pesas, para monitorear y asistir el trabajo de los entrenadores de deportistas de alto rendimiento en la tarea de reducir el riesgo de lesión producto de posiciones incorrectas durante la práctica. Se crearon 2 bases de datos (más de 80 videos) de los deportistas subiendo la barra con la técnica del “snatch” y “Clean & Jerk”.

El procesamiento se hizo en “Python científico”. Se utilizó el algoritmo de “mediaPipe” de Google en las imágenes IR para identificar a los atletas y regiones de interés (ROI) de su cuerpo. Con esta información se calcula el grado de inclinación de la espalda, apertura de las rodillas y apertura de los codos. También se obtuvo la gráfica de la trayectoria de la barra olímpica. Por último, se estimó la temperatura promedio de múltiples zonas de interés.

Keywords – Infrared imaging, Infrared sensors, application infrared, sport

Abstract

In this work, the “action quality evaluation” and “pose estimation” techniques are applied to infrared (IR) videos of weightlifters to monitor and assist the work of high-performance athletes coaches in the task of reducing the risk of injury due to incorrect positions during practice. Two databases were created (with over 80 videos) of athletes performing the barbell lift using the technique of “snatch” y “Clean & Jerk”.

The processing was done in Scientific Python. The “MediaPipe” algorithm from Google was used on the IR images to identify athletes and regions of interest (ROI) on their bodies. With this information, the degree of back inclination, knee opening, and elbow opening were calculated. The graph of the Olympic bar trajectory was also obtained. Finally, the average temperature of multiple regions of interest was estimated.

Keywords – Infrared imaging, Infrared sensors, application infrared, sport

Índice general

AGRADECIMIENTOS	I
Resumen	II
Abstract	III
1. Introducción	1
1.1. Hipótesis de Trabajo	2
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Alcances y Limitaciones	3
1.4. Estructura del documento	3
2. Marco Teórico	5
2.1. Principio de fisiología humana relacionados con la temperatura . .	5
2.1.1. Termoregulación	5
2.1.2. Interacción de radiación entre un cuerpo y el medio	7
2.1.3. Aplicaciones de termografía en medicina y ciencias del deporte	8
2.2. Procesamiento de imagenes	10
2.2.1. Reconocimiento de acción humana con imágenes infrarrojas	10
2.2.2. Técnica de “evaluación de calidad de acción” aplicada al	
deporte	11
2.2.3. Algoritmo de detección de pose: Media Pipe	13
2.3. Deporte de estudio: Halterofilia	14
2.3.1. Técnica	15
2.3.2. Investigaciones	16
3. Metodología	18
3.1. Base de datos	18
3.1.1. Equipamiento	18
3.1.2. Población de estudio	19
3.1.3. Procedimiento de adquisición	19
3.2. Procesamiento de datos	21
3.2.1. Información espacial	21

3.2.1.1. Estimación de ángulos	21
3.2.1.2. Trayectoria de la barra	22
3.2.2. Información térmica	24
4. Resultados	27
4.1. Funcionamiento algoritmo	27
4.2. Información extraída	29
4.2.1. Detección de ángulos	29
4.2.2. Trayectoria de la Barra	31
4.2.3. Información termica	33
4.3. Problemas de detección	34
5. Conclusión	38
5.1. Conclusion	38
5.2. Trabajo Futuro	39
Referencias	40
Apéndices	46
A. Documentación extra	46
A1. Permiso comisión de etica	46
A2. Consetimiento informado	49

Índice de cuadros

3.1.1.Especificaciones técnicas cámaras IR	19
4.1.1.Comparación estimación ángulos según video	29
4.3.1.Porcentaje estimación algoritmo por cada video	37
4.3.2.Tipos de detecciones: A. Detección correcta. B. Detección parcial fuera del cuerpo (Detecta ROI incorrectamente en partes fuera del atleta). C. Detección parcial a dentro del cuerpo (Detecta ROI incorrectamente en partes a dentro del atleta). D. No detecta cuerpo	37

Índice de figuras

2.1.1. Transferencia de calor cuerpo humano.	7
2.2.1. Comparación extracción de silueta.	10
2.2.2. Esquema del trabajo de AQA de Parmar.	12
2.2.3. Resultado estudio AQA del trabajo de H. Pirsivash.	13
2.2.4. Regiones de interés identificadas por el algoritmo de Media Pipe.	14
2.3.1. Secuencia de pasos para el Snatch	15
2.3.2. Secuencia de pasos para el Clean	15
2.3.3. Secuencia de pasos para el Jerk	16
2.3.4. Resultado estudio de variación de temperatura en los hombros de levantador de pesas.	16
3.1.1. Cámaras infrarrojas empleadas en la investigación.	18
3.1.2. Set up de la toma de datos.	20
3.2.1. Diagrama de pasos del procesamiento básico.	22
3.2.2. Ángulos medidos	23
3.2.3. Diagrama de pasos para determinar los ángulos.	23
3.2.4. Diagrama de pasos para determinar la trayectoria de la barra.	24
3.2.5. Diagrama de pasos para determinar la temperatura	24
3.2.6. Puntos de temperatura medidos.	25
4.1.1. Resultados de detección de pose para BD1: (a) Imagen Convencional (b) Imágenes “Xenics” (c) Imágenes “Seek Thermal”	27
4.1.2. Resultados de detección de pose para BD2: (a) Imagen Convencional (b) Imágenes “Xenics” (c) Imágenes “Seek Thermal”	28
4.2.1. Resultados de detección de ángulos en imágenes “Xenics”	30
4.2.2. Trayectoria barra en diferentes casos: (a) 70 % esfuerzo. (b) 80 % esfuerzo. (c) 90 % esfuerzo.	32
4.2.3. Resultados de detección de temperatura en imágenes “Xenics”. Grafica superior: 70 % esfuerzo. Grafica intermedia: 80 % esfuerzo. Grafica inferior: 90 % esfuerzo	33
4.3.1. Diferentes problemas presentados en la detección de pose. Grafica superior: 70 % esfuerzo. Grafica intermedia: 80 % esfuerzo. Grafica inferior: 90 % esfuerzo	35

Capítulo 1

Introducción

Durante el ejercicio y la actividad diaria, el cuerpo humano experimenta cambios fisiológicos y termorregulatorios para mantener un equilibrio interno adecuado. El sistema de termorregulación trabaja de manera natural para transferir el calor desde el núcleo del cuerpo hacia el entorno circundante (1; 2). El hipotálamo, una región clave en el cerebro, detecta los cambios en la temperatura interna y coordina la respuesta del cuerpo a través del flujo sanguíneo, comunicándose con los músculos, órganos, glándulas y el sistema nervioso. Esta interacción facilita el intercambio de calor con el ambiente externo con el fin de mantener la homeostasis térmica (3).

La importancia de este proceso biológico radica en la prevención de enfermedades relacionadas con el calor, las cuales pueden tener un impacto negativo en la vida de las personas. Específicamente para deportistas, puede verse afectado su rendimiento deportivo, llegando a conducir graves lesiones graves (4; 5). Como resultado, ha surgido un creciente interés en la integración de tecnologías infrarrojas en el ámbito deportivo. Estos avances tecnológicos tienen como objetivo prevenir lesiones, monitorear las respuestas térmicas del cuerpo y cuantificar los ejercicios físicos, lo que puede llegar a ayudar ha atletas a mejorar sus habilidades y rendimiento (5; 6; 7; 8). Como resultado, los investigadores han llevado a cabo numerosos estudios en diversas disciplinas deportivas, incluyendo el fútbol, el ciclismo, los deportes de combate, el remo y la carrera (9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16).

Otro tipo de tecnología que se ha aplicado en el deporte es la “estimación de pose” y “evaluación de calidad de acción”. Este consiste en que el computador

solo es capaz de detectar al atleta en la escena, para luego analizar y evaluar la ejecución de ciertos movimientos. Se han realizado estudios en deportes como clavado y patinaje artístico, utilizando cámaras convencionales y algoritmos de aprendizaje supervisado que comparan los videos con una plantilla de ejecución perfecta (17; 18).

En este trabajo, se combinaron estos dos métodos para potenciar el análisis de movimiento: la evaluación de calidad de acción y las imágenes infrarrojas. Se eligió estudiar y crear una base de datos de levantadores de pesas, ya que son más fáciles de filmar (poco desplazamiento) y por la escasez de publicaciones científicas que aborden las variaciones de temperatura corporal en esta disciplina.

La combinación de la “evaluación de calidad de acción” y las imágenes infrarrojas en el análisis de movimiento en deportes representa un enfoque innovador y prometedor. Se espera que este trabajo contribuya al desarrollo de nuevas herramientas y técnicas para la mejora del rendimiento deportivo y la prevención de lesiones, al proporcionar una evaluación más completa y precisa de los movimientos de los atletas.

1.1. Hipótesis de Trabajo

El uso de video en la banda infrarroja mejora la técnica de calidad de acción asistida en deporte de levantamiento de pesas.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Generar una técnica de evaluación de calidad de acción asistida, mediante el uso de imágenes infrarrojas, y así generar una herramienta para beneficiar a deportistas en el deporte de levantamiento de pesas.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Aprender funcionamiento de la técnica de “evaluación de calidad de acción” en imágenes convencionales.

- Generar una base de datos de videos infrarrojos de levantadores de pesas mientars realizan la tecnica del “snatch” y del “clean & jerk”.
- Aplicar el algoritmo Media Pipe para detección de pose a la base de datos infrarroja.
- Analisis de procesamiento digital de imagenes infrarrojas para la determinación del movimiento corporal y temperatura de areas de interés.

1.3. Alcances y Limitaciones

De las cámaras infrarrojas disponibles en el departamento de ingeniería eléctrica de la Universidad de Concepción, se utilizó la “Seek thermal” y “Xenic” que trabajan en el rango espectral de infrarrojo lejano (LWIR). Se eligieron estas cámaras para observar y comprar la respuesta térmica de los deportistas en los distintos rangos espectrales; además, se seleccionaron por ser fáciles de transportar y manipular.

Para esta investigación se creó una base de datos exclusiva de levantadores de pesas haciendo diferentes ejercicios, en la que se filmaron en un plano frontal o sagital. Se eligió este deporte, porque es fácil de filmar (no tiene mucho desplazamiento espacial) y al ser deporte explosivo, se produce una rápida variación térmica. Las filmaciones se hicieron solo en un plano frontal. El grupo de estudio estuvo comprendido por pesistas voluntarios adultos, de ambos géneros, chilenos, pertenecientes a la octava región de Chile.

Toda la información es procesada en el software Python, al ser un programa versátil, compatible para la lectura de la base de datos y posee librerías específicas de inteligencia artificial y maching learning. La manipulación de los resultados para alguna aplicación médica específica, se escapa de los objetivos aquí planteados.

1.4. Estructura del documento

El presente trabajo está constituido por 5 capítulos. El primero (presente) es introductorio al tema de esta investigación, hace una breve descripción en que consiste esta investigación, junto con mencionar los objetivos (generales y específicos) y alcances de esta investigación. El capítulo 2 alberga conceptos básicos necesarios para comprender este trabajo, tales como procesos termorreguladores en

los seres humanos, tecnología infrarroja, procesamiento de imágenes y halterofilia.

En el capítulo 3 se menciona la metodología de trabajo, pasando por los equipos utilizados, los pasos para la toma de datos y el procesamiento de esta información.

El capítulo 4 muestra los análisis y resultados de esta investigación. En él se compara el desempeño del algoritmo de “Media pipe” en la estimación de pose para las 3 filmaciones (cámara convencional e infrarrojo (IR) (cámara “Xenics” y cámara “Seek Thermal”). Luego se muestra un análisis descriptivo de la información extraída de los videos sobre los deportistas. Aquí encontramos la estimación de ángulos de flexión de las extremidades inferiores e inclinación de la espalda, gráfica de la trayectoria de la barra y la estimación de la variación de temperatura en algunas partes clave del cuerpo. Por último, se muestra y se comparan los inconvenientes en la detección de pose prestados por el algoritmo de “Media pipe”.

Por último, el capítulo 5 contiene las conclusiones generales de todo este trabajo.

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1. Principio de fisiología humana relacionados con la temperatura

2.1.1. Termoregulación

Desde siempre, se ha relacionado la variación de temperatura con alguna alteración corporal, ya sean problemas por dolor, cardíacos, deficiencias vasculares; neurológicas, hasta oncológicos (19).

El cuerpo humano requiere una temperatura interna de 37 °C para vivir. Internamente, el proceso termorregulador es el encargado de mantener la temperatura corporal. Este mecanismo de retroalimentación negativa está formado por células receptores térmicas (neuronas especializadas), que censan la temperatura interna y externa del cuerpo y el hipotálamo, el termostato regulador encargado de accionar las respuesta requeridas para mantener las condiciones térmicas necesarias (20). Las respuestas del hipotálamo cuando hay desequilibrio térmico son:

- Termólisis (perdida de temperatura):
 - Vasodilatación: Dilatación de los vasos sanguíneos.
 - Respiración: Pérdida de calor por vía aérea.
 - Transpiración: Secreción de sudor por las glándulas sudoríparas.

- Termogénesis (ganancia de temperatura):
 - Vasoconstricción: Estrechamiento de los vasos sanguíneos.
 - Escalofríos: Fricción muscular.

Además, existen otros factores que alteran este sistema, tales como la edad, género, ciclo menstrual, porcentaje de grasa corporal, contenido de glándulas sudoríparas, además de respuestas endocrinas específicas que incluso varían en función de los ritmos circadianos (21).

Como la temperatura corporal de las personas supera los 0 Kelvin (-276°C), este cuerpo emite calor, tanto hacia el medio, como entre órganos. Las formas en que interactúa son:

- **Conducción:** es la transferencia de calor por contacto directo entre dos sólidos a distintas temperaturas. Esto ocurre cuando dos órganos o miembros se tocan, o también cuando la piel toca la ropa, o cualquier otra cosa (22).
- **Convección:** es la transferencia de calor por entre un cuerpo sólido y un gas o líquido. Esto ocurre cuando el aire tiene contacto con la piel, o cuando la sangre transfiere calor a los demás órganos, por medio de los vasos sanguíneos. Dentro de este grupo también está la evaporación, en la que se transforma un líquido en vapor, el cual se lleva a cabo tanto en la piel (por el sudor) como en los pulmones. Es importante como mecanismo de refrigeración necesario a temperaturas elevadas del aire (22), (23).
- **Radiación:** es la transferencia de calor por medio de ondas electromagnéticas (rayos infrarrojos) representa el 60 % de pérdida total de calor. El cuerpo irradia calor en todas las direcciones, tanto así como todos los demás objetos irradian calor hacia él, aunque mayor es el porcentaje de emisión, que de absorción.

La Fig.2.1.1 ejemplifica este mecanismo en el cuerpo humano.



Figura 2.1.1: Transferencia de calor cuerpo humano.
Fuente: Elaboración Propia.

Este último concepto, la radiación, es la que logra visualizar las cámaras infrarrojas. Demostrándose así, que esta tecnología es una puerta para observar una variable fisiológica.

2.1.2. Interacción de radiación entre un cuerpo y el medio

Como se mencionó en el capítulo anterior, todo cuerpo u objeto sobre el cero absoluto (-273°C o 0K) emite radiación. Éste puede interactuar con otros cuerpos, ya sea emitiendo, absorbiendo, reflejando o traspasado esta energía. Estas acciones reciben los nombres de “emissivity” (ϵ), “absorptivity” (α), reflectivity (ρ) y “transmissivity” (τ) (22). La manera en que interactúan estas cualidades en cada cuerpo, está dado por la ecuación de radiación incidente de cada cuerpo:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (2.1.1)$$

O vista desde la otra cara, la ecuación de radiación que sale de un cuerpo:

$$\epsilon + \rho + \tau = 1 \quad (2.1.2)$$

Otro hallazgo fue la relación entre la energía emitida por los cuerpos, la longitud de onda y la temperatura de estos cuerpos, pudiéndose actualmente estimar los valores de temperatura de ciertos objetos, conociendo emisividad y la longitud

de onda de lectura. Debido a esto, hoy se sabe que el rango infrarrojo lejano, es donde el cuerpo humano (37°C) presenta mayor emisividad (24; 25) y éste tiene un valor aproximado de $\epsilon \approx 0,98$ (26).

2.1.3. Aplicaciones de termografía en medicina y ciencias del deporte

El uso de la tecnología infrarroja comenzó sólo para uso de instrumentación militar, pero luego se fue expandiendo a otras áreas, como industrial, plomería, electricidad, etc. Entre sus múltiples aplicaciones se destaca su uso en medicina, en donde ha llegado a ser una fuerte herramienta rápida, no invasiva y objetiva (19). Ejemplo de sus usos actuales, es en la detección del cáncer, el diagnóstico dental, diagnóstico oftalmológico, el control de la presión arterial, ginecología y estudios de termorregulación, entre otros (27). Además, cuando se fusiona con otras tecnologías, puede mejorar la detección y el monitoreo. Por ejemplo, la concordancia entre la electroencefalografía (EEG) y la espectroscopía de IR cercana funcional (NIRS) para estudios cerebrales funcionales es un campo de estudio prominente (20).

Expandiendo sus aplicaciones a distintos problemas de la medicina, llegó hasta el área de ciencias del deporte. El primer acercamiento fue en 1975, cuando se publicó la primera investigación deportiva. El trabajo de Keyl y Lenhart comparó la temperatura de deportistas con y sin lesiones (28). Desde ese momento, hasta la fecha, se registra un aumento abrupto de publicaciones en esta materia, llegando el año 2019 a 100 publicaciones (en la plataforma Publimed), sobre el tema. En esta materia, su utilidad va en la prevención de lesión, seguimiento de lesiones y apoyo en el diagnóstico (22; 5).

Es posible encontrar investigaciones que abarcan los deportes individuales, colectivos, e incluso los relacionados con animales. Por mencionar algunos, encontramos el uso de la tecnología IR para medir la variación de temperatura en la planta de los pies, después de realizar trote en distintas circunstancias (29), el uso en la equitación, para ver el estado de los caballos (22). Hay investigaciones que relacionan la variación de temperatura con la acción muscular, ya sea con el momento de activación (30; 31), o cuando ocurre la fatiga (este último fue corroborado con miografías) (32). Por otro lado, se descubrió que en deportes de

resistencia, no existe relación significativa entre la variación de temperatura y la intensidad de trabajo (30).

Para las investigaciones IR en medicina y ciencias del deporte, se sigue un protocolo para la toma de muestras. Esta abarca desde condiciones ambientales (ejemplo temperatura ideal, humedad ideal, entre otras), tiempo de aclimatación de las personas, alimentos que no se debe consumir antes de toma de muestras, etc. Esto se puede ver detallado en trabajos de Lahiri y Bauer (21; 33; 34)

Con respecto a los análisis en estas investigaciones, estas suelen ser:

- Cualitativo:
 - Distribución de temperatura en la escena: Luego de pintar la imagen con una paleta de colores, es posible observar la forma de variación de temperatura por la escena.
- Cuantitativo:
 - Estimación de temperatura.
 - Temperatura extrema (puntos máximo y mínimos).
 - Variación de temperatura.
 - Simetría térmica (comparar temperatura entre miembros de cada lado).
 - Variación de temperatura en las regiones de interés (ROI) (ver gradiente de temperatura a dentro de un miembro).

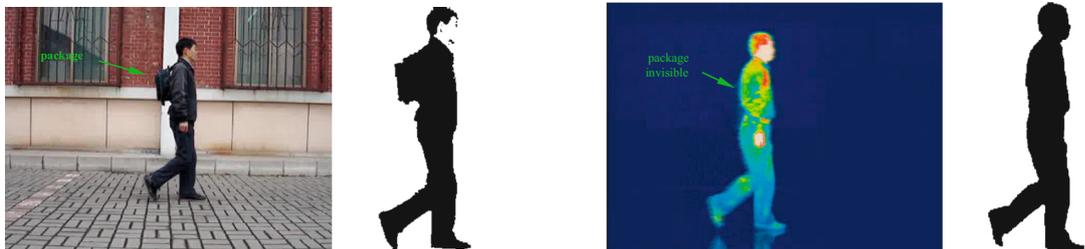
Además de lo anterior, cabe mencionar el desafío ingenieril que hay detrás de las imágenes. Éstos van desde la construcción del equipo, hasta el procesamiento digital de la imagen. En este último, se encuentran problemas en la detección del cuerpo humano en la escena, detección de ROI y la estimación de temperatura, en base a la radiación captada (22).

2.2. Procesamiento de imágenes

2.2.1. Reconocimiento de acción humana con imágenes infrarrojas

El reconocimiento de acción humana “HAR”, como su mismo nombre lo indica, intenta identificar la acción de una persona en una imagen y/o video. Esta tarea, es un tópico que involucra conocimiento de “computer vision” y “machine learning”

Se empezó usando cámaras convencionales (espectro visible), para la detección de acción (35; 36). Años más tarde, debido a dificultades en el reconocimiento de personas, se exploró hacer la misma tarea, con ayuda de la termografía. Esto, debido a que las imágenes IR solucionaba varios problemas, tales como la luminosidad del medio, los cambios de apariencia de las personas, la presencia de sombras y poder diferenciar objetos externos del cuerpo (37). Esto lo evidencia Xue (38), quien muestra cómo facilitar la tarea de identificar el cuerpo. Como se indica en la Fig 2.2.1, en donde se observa una mejora en la extracción de silueta.



(a) “Extracción imagen espectro visible.

(b) Extracción imagen espectro IR.

Figura 2.2.1: Comparación extracción de silueta.

Fuente: Paper Z. Xue (38)

Los pasos básicos que estos algoritmos, son:

- **Ingreso de secuencia de videos:** El primer gran paso es acceder a la información. Para los estudios HAR en visible, se utiliza la imagen en formato RGB, mientras que para HAR en IR, la mayoría de los estudios utilizan imágenes RAW de las cámaras IR (rango espectral NIR). Hay base de datos disponibles para estos estudios, como lo son “Sports-1M”, “UCF Sports Action dataset”, “InfAR dataset”(35) , por mencionar algunas (36).
- **Extracción de características:** Existen dos métodos para extraer la

información, una representación parcial y otra global. En la representación global, se considera el video completo como un todo. En estos casos, primero se reconoce a la persona en la escena y luego se reconocen regiones de interés para hacer la clasificación.

Por otro lado, en la representación parcial, el video se segmenta, se procesa la información por trozo, para luego unir todo. Igual que el otro caso, que comienza con la detección de la persona y se detectan puntos de interés en el área espacio-temporal. Luego, se extraen características de los puntos de interés por cada segmento, para juntarlos y representar toda la acción (36; 39).

- **Descripción de la acción:** Esto sólo se aplica cuando hay representación parcial. Luego de la detección de los puntos de interés por segmentos, se extraen características espacio-temporales de cada punto, en cada grupo. Estas pueden ser coordenadas de ubicación, tiempo, gradientes, trayectoria. En estudios recientes, se sacan características para formar un esqueleto, y los descriptores modelan el desplazamiento (40).
- **Interpretación y clasificación de la acción:** Con set de características listas, se entregan los datos a un algoritmo de “machine learning”, el cual, fue entrenado antes con una parte de la base de datos. Los modelos más mencionados son “Support Vector Machines” (SVM) y k-Nearest Neighbor. Existen autores que previo a la clasificación, reducen el vector de características, usando “Principal Component Analysis” (PCA) (36).

Algunas aplicaciones de HAR son en videos de vigilancia, interacciones persona con computador (HCI) y videojuegos. Específicamente, aplicaciones que usaron imágenes térmicas son reconocimiento facial, reconocimiento de expresiones faciales, seguimiento de personas y análisis de marcha humana (36; 41).

2.2.2. Técnica de “evaluación de calidad de acción” aplicada al deporte

El término “assessing the quality of action” (AQA) se refiere a la valorización de la ejecución de cierto movimiento por computadora. AQA también requiere conocimientos de “computer vision”, “pattern recognition” y “machine learning”

(17). Al igual que HAC, los primeros pasos consisten en identificar el cuerpo en cada escena, reconocer elementos espacio-temporales y buscar puntos de interés. Con ellos, se obtiene un vector de características, para entregar dicha información a un algoritmo de “matching learning”, que buscará el porcentaje de similitud entre el video estudiado y el patrón, que determinará que tan bien es la ejecución. La Fig. 2.2.2 corresponde a un esquema del trabajo de Parmar, donde se puede ver gráficamente los pasos anteriormente mencionados.

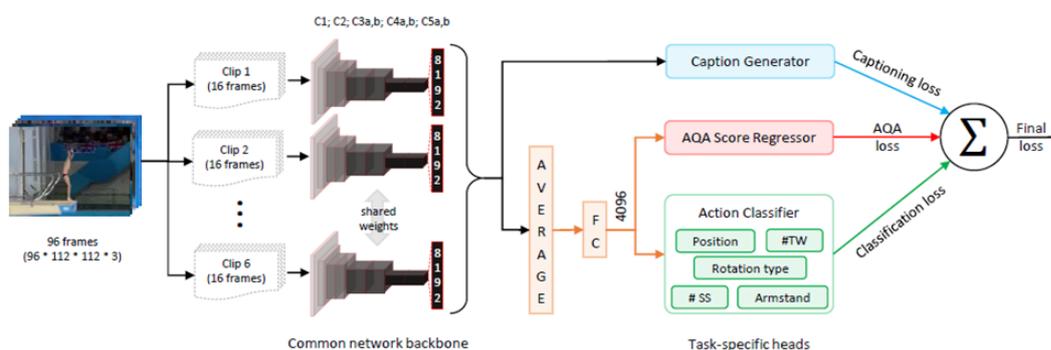


Figura 2.2.2: Esquema del trabajo de AQA de Parmar.

Fuente: Paper. “Assessing the quality of actions” (17)

Los resultados se pueden mostrar de diferentes maneras. Desde una forma sencilla, en donde se calcula el porcentaje de similitud entre la ejecución del deportista y el movimiento correcto, o de manera más compleja, identificando los lugares con menor similitud e indicar el ajuste a realizar para mejorar dicho porcentaje.

Cabe resaltar, que aunque HAC y AQA busquen identificar acciones, la diferencia radica en que el primero intenta clasificar cual acción realiza una persona; en cambio AQA, evalúa que tan bien ejecuta la acción. La diferencia se observa en la utilización del algoritmo de matching learning. En el caso de HAC, busca etiquetar el nombre de la acción correcta, mientras que en AQA, involucra una correlación entre una ejecución modelo y una a evaluar.

Algunas aplicaciones en donde se ha probado esta técnica, es en fisioterapia, habilidades quirúrgicas (42) y en el deporte (patinaje, clavado, basquetbol) (17; 18; 43). En el deporte puede llegar a ser una herramienta poderosa para ayudar tanto a los entrenadores como a atletas a mejorar su desempeño, también para jueces, en la estimación de puntajes. Un ejemplo de ello, es el estudio de H. Pirsivash (17), en donde se utilizó esta técnica en clavadistas y patinadores

artísticos, para estimar los puntajes de ejecución y evaluar la correcta realización de los movimientos. Algunos de los resultados se observan en la Fig. 2.2.3. En la Fig. 2.2.3a se observa cómo el algoritmo fue capaz de identificar al cuerpo en la imagen y diferenciar cada una de sus extremidades; mientras que la parte Fig. 2.2.3b, se muestran unas flechas generadas por computadora, que indican los gestos que debería cambiar para mejorar su desempeño. Cabe mencionar que dicho proyecto no estuvo exento de dificultades, ya sea identificando incorrectamente las extremidades, o indicando mejoras en movimiento físicamente imposibles.

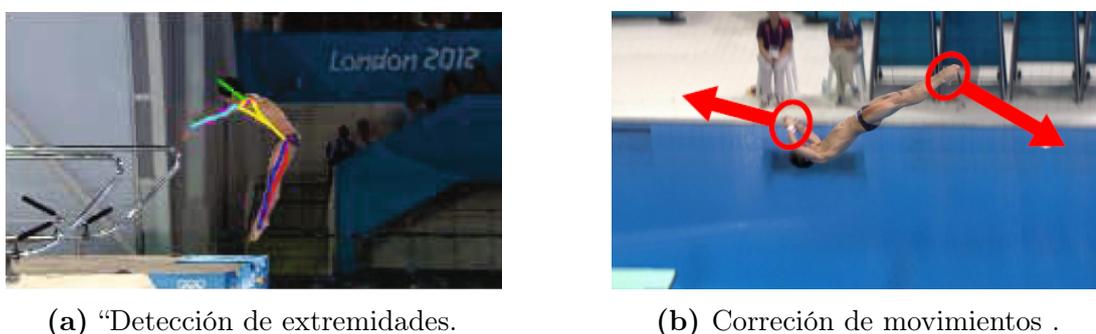


Figura 2.2.3: Resultado estudio AQA del trabajo de H. Pirsiavash.
Fuente: Paper. "Assessing the quality of actions (17)

Con esto queda evidenciado que esta área de estudio tiene mucho potencial que entregar, pero aún queda bastante por pulir. Hay que señalar que los videos e imágenes utilizadas, son de imágenes convencionales, y la base de datos pueden provenir de videos de youtube o del banco de datos de b. Morris (18), creado especial para este estudio. A conocimiento de este autor, no existe publicación científica que se hayan aplicado AQA en imágenes o videos infrarrojos.

2.2.3. Algoritmo de detección de pose: Media Pipe

"MediaPipe" es una plataforma de código abierto desarrollada por Google, desarrollada con inteligencia artificial, la cual brinda una gama completa de herramientas y bibliotecas para el procesamiento de imágenes y videos. Sus funcionalidades abarcan desde la detección de objetos y la segmentación del fondo de imágenes hasta el reconocimiento de gestos, caras, manos y seguimiento de cuerpo completo (44).

En este estudio, se ha empleado de manera específica el algoritmo "Pose landmark detection" de MediaPipe, enfocado en la detección de pose humana. Para lograr este

propósito, el algoritmo localiza puntos clave en el cuerpo, como las articulaciones y partes de este. A estas zonas se les denomina “Regiones de interés” (ROI) y la aplicación es capaz de identificar 32 puntos (mostrados en color verde sobre el esquema de la figura 2.2.4).

Es importante destacar que esta plataforma está entrenada con imágenes del espectro visible, lo que hace que su aplicación en imágenes y videos infrarrojos sea novedosa y pionera.

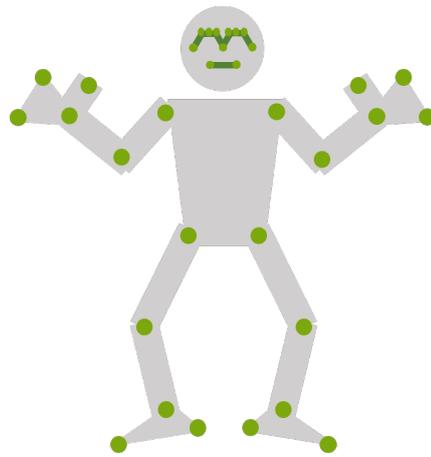


Figura 2.2.4: Regiones de interés identificadas por el algoritmo de Media Pipe.
Fuente: Elaboración Propia.

2.3. Deporte de estudio: Halterofilia

La halterofilia es un deporte olímpico que busca al deportista más fuerte. En este trabajo se decidió crear una base de datos (BD) sobre esta disciplina, ya que posee algunos factores favorables, tales como; Primero, su poco movimiento espacial (mas bien vertical), lo que facilito las filmaciones para la creación de BD. Otro punto fue el control de las condiciones del medio, debido a que este deporte se practica en lugares cerrados, es posible controlar factores externos, como la temperatura ambiental y contrastes de posibles focos de irradiación que podrían generar ruido a la escena. Otro punto fue la variación de temperatura apreciable en un corto lapsus de tiempo, debido que este es un deporte muy explosivo. Y por último, el poco conocimiento que hay de este deporte en el área térmica.

2.3.1. Técnica

En competencia los deportistas deben levantar la barra olímpica de dos ejercicios: “snatch” y “clean & jerk”. El primero consiste en levantar la barra desde el suelo hasta arriba de la cabeza en un movimiento (45; 46). A su vez podemos dividirlo en cinco partes: 1st pull, 2nd pull, drop, receiving and Recovery, clarificados en la figura 2.3.1.

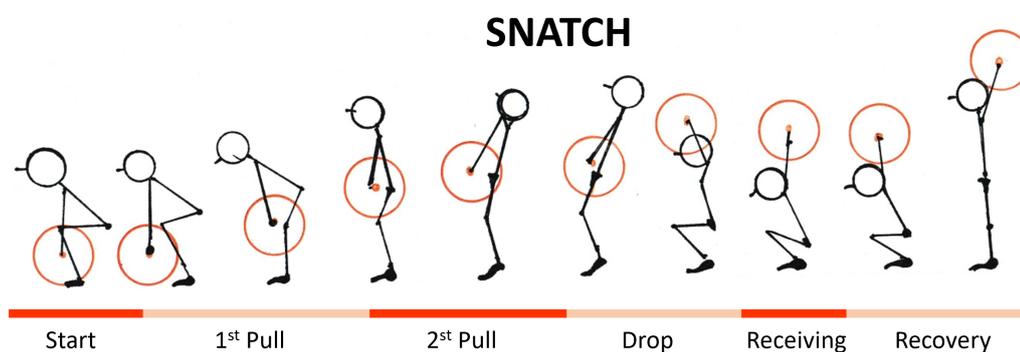


Figura 2.3.1: Secuencia de pasos para el Snatch

Fuente: Elaboración Propia.

El otro movimiento es “clean & jerk”. Este consiste en levantar la barra en dos movimientos; En el primero se levanta la barra desde el suelo hasta posicionarla sobre los hombros. Mientras que el segundo movimiento, de un jalón sube la barra hasta su posición final, sobre la cabeza con los brazos extendidos (47; 48). Esta secuencia de pasos y las diferentes fases lo vemos en las Figuras 2.3.2 y 2.3.3.

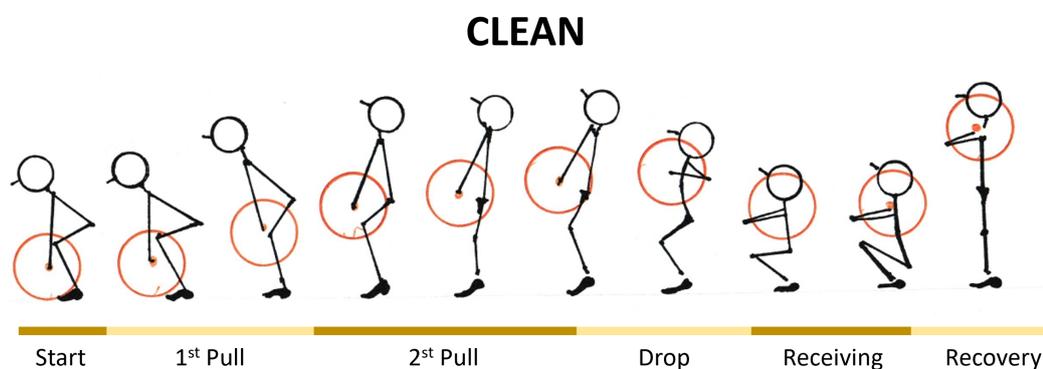


Figura 2.3.2: Secuencia de pasos para el Clean

Fuente: Elaboración Propia.

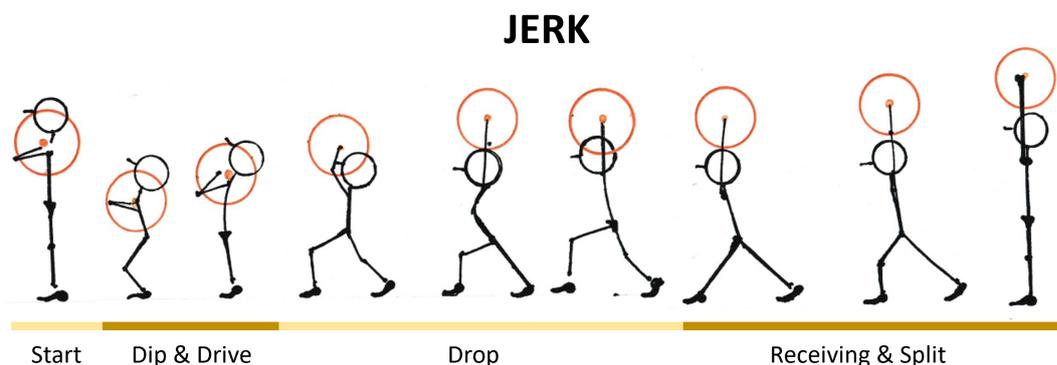


Figura 2.3.3: Secuencia de pasos para el Jerk

Fuente: Elaboración Propia.

2.3.2. Investigaciones

Las investigaciones científicas sobre la halterofilia se centran en análisis cualitativo y cuantitativo sobre la biomecánica del movimiento. Los expertos analizan parámetros como la rapidez y tiempo de vuelo con que se levanta la barra, ver la reacción neuro-muscular con electromiografías (32), estudio de ejecución de acciones mediante imágenes, entre otros (49; 50; 51; 52; 53).

Por otro lado, desde el año 2018 hasta la fecha son pocos las investigaciones de este deporte que medían la temperatura corporal (y/o algún punto específico) usando termografía IR. Entre estos destaca la investigación de Kuniszyk-Józkowiak que evalúa la variación de temperatura en los hombros de deportistas olímpicos durante el “snatch”. Concluyó que existe una variación significativa de temperatura en el proceso (54). La figura 2.3.4 muestra resultados de esta investigación.



Figura 2.3.4: Resultado estudio de variación de temperatura en los hombros de levantador de pesas.

Fuente: Paper. “Variability of shoulder girdle temperature in the initial phase of the snatch in weightlifting” (54)

Trabajos más actuales de esta línea, destaca el trabajo de Castillo (55), quien mide la diferencia de temperatura en el rostro, antes y después de una sesión de entrenamiento de Crossfit. Otro deporte de creciente interés científico y que han usado esta tecnología, es el Powerlifting paraolímpico. Aquí destacan las investigaciones de M de Aquino (56; 57), quien estudia las distintas formas de calentamientos, y mide con imágenes infrarrojas que tan preparados se encuentran los músculos para la competencia.

Capítulo 3

Metodología

3.1. Base de datos

3.1.1. Equipamiento

Para la creación de la base de datos (BD) se emplearon 3 cámaras: una cámara convencional marca "Canon" modelo Rebel T100" y 2 cámaras infrarrojas distintas , "Seek Thermal" modelo "compact pro" y "Xenics" modelo "Gobi", mostradas en la figura 3.1.1.



(a) "Cámara infrarroja Seek thermal" modelo "Compact pro".



(b) Cámara infrarroja "Xenics" modelo "Gobi".

Figura 3.1.1: Cámaras infrarrojas empleadas en la investigación.

Fuente: Sitio web [www.thermal.com] y [www.xenics.com].

La tabla 3.1.1 resumen algunas de las cualidades más importantes de las cámaras infrarrojas.

Cuadro 3.1.1: Especificaciones técnicas cámaras IR

Cualidades	SeeK Thermal - Compact	Xenics - Gobi
Rango espectral	LWIR	LWIR
Respuesta espectral	7.4 - 14 [μm]	8 - 14 [μm]
Resolución espacial FPA	206 x 156	640 x 480
Frame Rate	<9 Hz	50 Hz
Resolución Térmica (NETD)	<70 mK	55mK
Tamaño del pixel	75 [μm]	17 [μm]

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.2. Población de estudio

El grupo de estudio estuvo compuesto por 20 voluntarios adultos de ambos sexos (16 varones y 4 damas), que practican regularmente la halterofilia y poseen a lo menos dos años de experiencia. Ellos se encuentran en un rango etario que va desde los 18 a los 36 años de edad y no presentan ningún problema dermatológico ni infección viral que pueda influir en la alteración de la temperatura interna ni superficial corporal a medir.

Debido que esta investigación usa datos fisiológicos humanos (temperatura corporal), se solicitó permiso a la comisión de ética de la Universidad de Concepción. La identidad acredita esta investigación. Dicho certificado se encuentra en el anexo A1, junto con el formato del “consentimiento informado” que firmaron los voluntarios.

Es importante mencionar que los datos de los voluntarios fueron trabajados de manera anónima.

3.1.3. Procedimiento de adquisición

Para la BD de esta investigación se grabaron a los pesistas en 2 eventos deportivos diferentes, pero haciendo los mismos ejercicios en condiciones ambientales similares.

Las grabaciones se realizaron en dos ubicaciones de la región del Bio Bio: el "Palacio del Deporte" de Talcahuano y el gimnasio "Vulcano" de Concepción. En la primera ubicación, se capturaron las imágenes de los deportistas desde un plano frontal, mientras que en la segunda locación, se filmaron desde un plano sagital. Para facilitar la comprensión, nos referiremos a la filmación frontal como "BD1" y a la filmación sagital como "BD2".

Para ambos eventos de emplearon las 3 cámaras, posicionadas de la siguiente manera; Respecto a la Tarima, la cámara “Seek Thermal” y la cámara de espectro visible a 5 metros de distancia, mientras que la cámara térmica “Xenics” estaba a 7 metros de distancia. Esto se ilustra en la Figura 3.1.2, donde arriba esta el esquema para la BD1, en la que se empleó la cámara del smartphon e para imagen referencial de espectro visible. Y abajo el esquema de la BD2, donde se utilizó una cámara Canon.

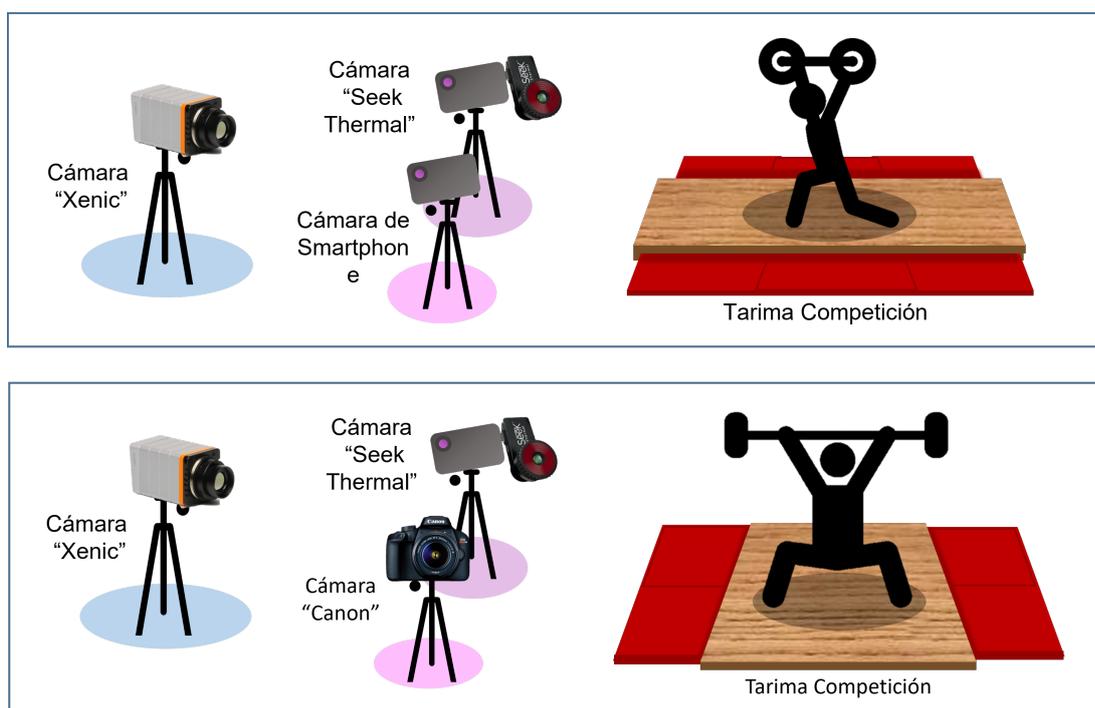


Figura 3.1.2: Set up de la toma de datos.

Fuente: Elaboración Propia.

En el día de la toma de muestra, lo primero fue informar a los voluntarios de que se trata esta investigación y si estos quisieran participar. Quienes aceptaron, firmaron el consentimiento informado. Luego cada deportista hizo su calentamiento en el mismo recinto deportivo, fuera de cámaras.

A cada deportista se le filmó varias veces subiendo la barra olímpica con la técnica de “snatch” y “Clean & Jerk”. Cada filmación tiene una duración de entre 10 a 30 segundos, que inicia desde instantes previo a tomar la barra, y termino cuando la soltaban (pudiendo haber realizado correctamente el movimiento o no). Para el caso de la BD1, la filmación se hizo en una competencia, por lo que cada deportista levanta sus pesos máximos. Mientras que para el caso de la BD2, estas

filmaciones se hicieron en entrenamiento, por lo que cada deportista levanto el peso corresponde 70, 80 y 90 % de su esfuerzo personal.

La información fue guardada según su cámara: las imágenes térmicas en un formato no comprimido de 14 bits y en escala de grises, que para la Cámara Xenics es del tipo de archivo “XVI”, y para la “Seek Thermal “MP4 ”. Para la cámara convencional fue grabada en escala de color. En total se recaudaron 80 videos.

3.2. Procesamiento de datos

El procesamiento se hizo en la plataforma de “Python científico” y se realizaron los pasos detallados en la Figura. 3.2.1. Todos los videos tienen el mismo procesamiento previo. De aquí en adelante, para un mejor entendimiento, se llamará a cada tipo de video según el nombre de la cámara que lo filmó.

El procesamiento base empieza con la cargar los videos en el software. Se hizo un análisis frame a frame con el algoritmo “Pose landmark detection” de MediaPipe (44). Luego de detectar los ROI en la escena, se identificaron las siguientes variables:

3.2.1. Información espacial

3.2.1.1. Estimación de ángulos

Para este trabajo se calcularon los ángulos de las 4 extremidades (superiores e inferiores) del cuerpo humano y el grado de inclinación en la espalda (mostrados en la Figura 3.2.2). Para su estimación se siguieron los pasos descrito en la figura 3.2.3. A partir de los ROI identificados por medio pipe, se seleccionaron 3 puntos por extremidad que las comprendían, y para el caso de la espalda 2 puntos, ya que el tercero es el punto de la cadera, pero desplazado hacia la derecha. Sabiendo estas coordenadas, se estimo el ángulo usando el teorema del coseno (escrito en la figura 3.2.3). Este paso fue repetido por cada frame, para posteriormente graficar la variación del ángulo durante el vídeo.

Se utilizó la opción de “Media Pipe” que dibuja los ROI y sus intersecciones (esqueleto) sobre la imagen original, para hacer un mejor análisis cualitativo.

Para la halterofilia, obtener estos ángulos permite observar, medir y evaluar que bien hace la técnica en si del “snatch” o “Clean & Jerk”, y/o como varia su ejecución

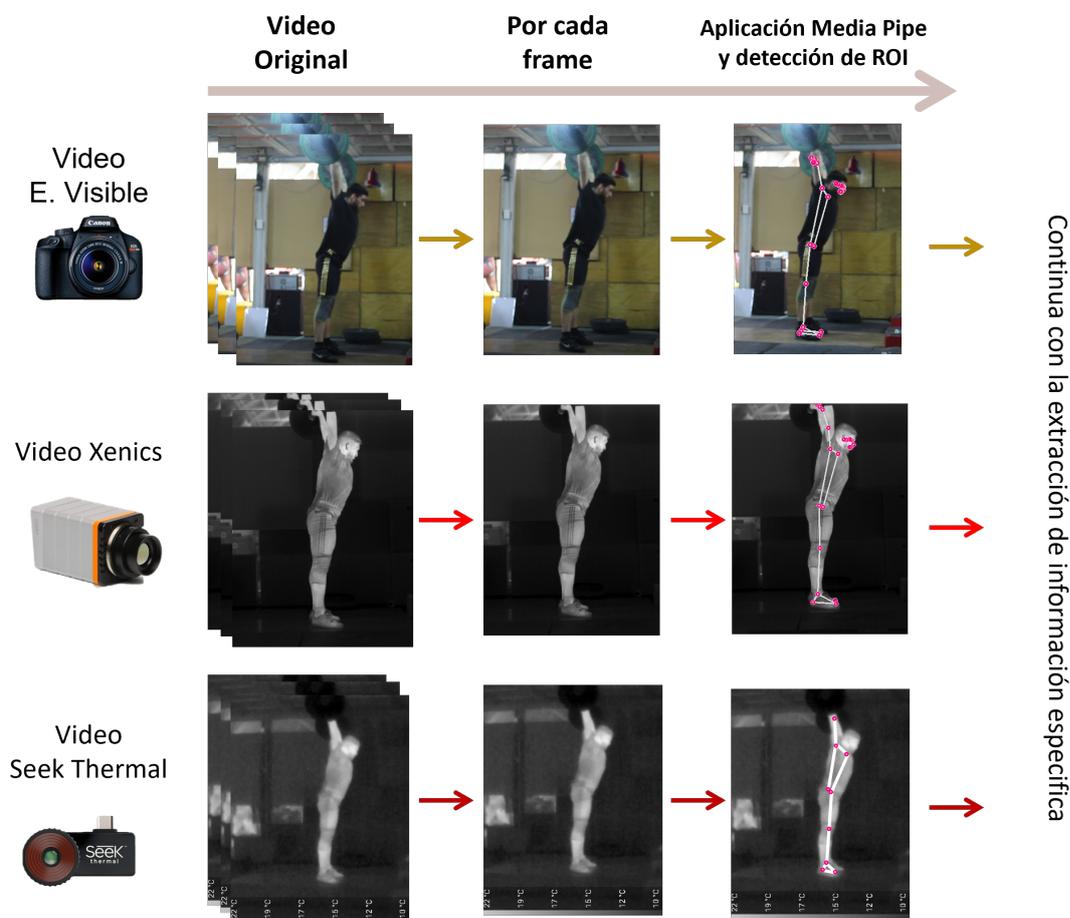


Figura 3.2.1: Diagrama de pasos del procesamiento básico.

Fuente: Elaboración Propia.

levantando diferentes pesos. Esta medición es el parámetro AQA considerara para evaluar.

3.2.1.2. Trayectoria de la barra

Otra medición fue la trayectoria de la barra durante el ejercicio. Este consiste en graficar el recorrido de la barra desde un plano sagital. Su objetivo es observar qué tan recto se eleva la barra y evaluar la posición correcta que debe tener el cuerpo del deportista durante las diferentes fases del ejercicio. Es usado para estudiar la biomecánica del movimiento en halterofilia. Autores como Bruenger analizan la trayectoria y la clasifican según edad, género, entre otros parámetros (58; 45)

Para obtener esta información, se siguieron los pasos de la figura 3.2.4. A partir de las imágenes infrarrojas originales, se hizo un análisis frame a frame. Se utilizó la biblioteca "OpenCV" de "Python" para detectar círculos en la escena y así ubicar

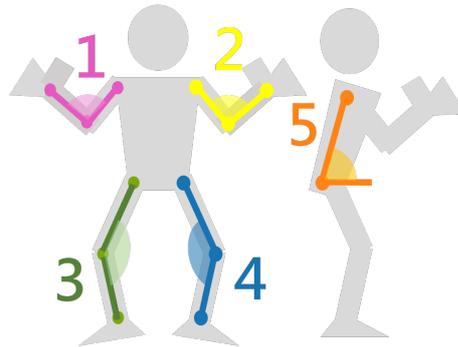


Figura 3.2.2: Ángulos medidos

Fuente: Elaboración Propia.

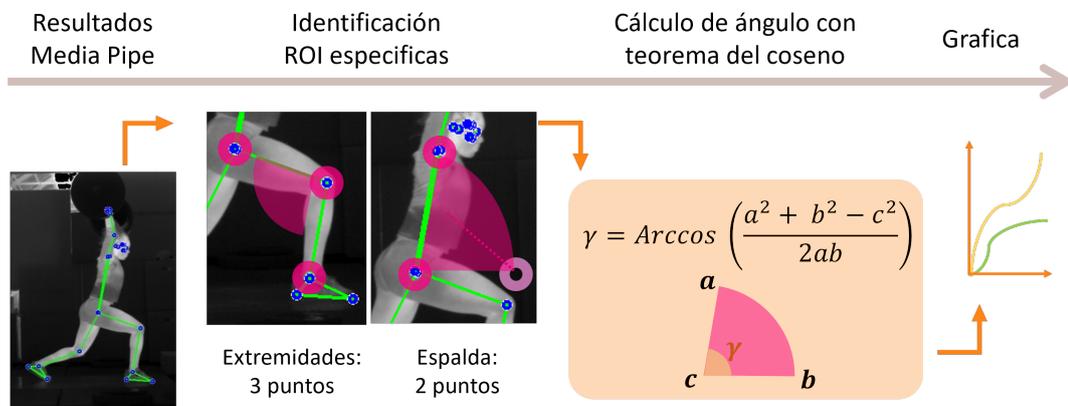


Figura 3.2.3: Diagrama de pasos para determinar los ángulos.

Fuente: Elaboración Propia.

la pesa. Luego se guardó la posición central de el circulo. Esto se repitió por cada escena. Finalizado el video, se graficaron estos puntos centrales, agregando una línea perpendicular sobre la primera marca. Esta línea sirve como referencia para evaluar la verticalidad. Se puede tomar como referencia los pies del atleta o la ubicación del centro del disco en el instante que inicia el levantamiento. Para este trabajo el punto cero será con respecto al centro del disco.

Obtener este parámetro muestra como usando la misma imagen, saco más información útil para el deportista. Para esta tesis este parámetro no es evaluado con AQA, pero en un trabajo futuro es posible incorporarlo, como medir que tanto se aleja del deportista del eje centra y/o a cual de las tecnicas de trayectoria se apega mas. Aunque esto es posible de obtener con los videos de ambas bandas electromagnéticas, el uso de imágenes IR permite localizar fácilmente la circunferencia de la pesa, ya que tiene menos ruido de fondo.

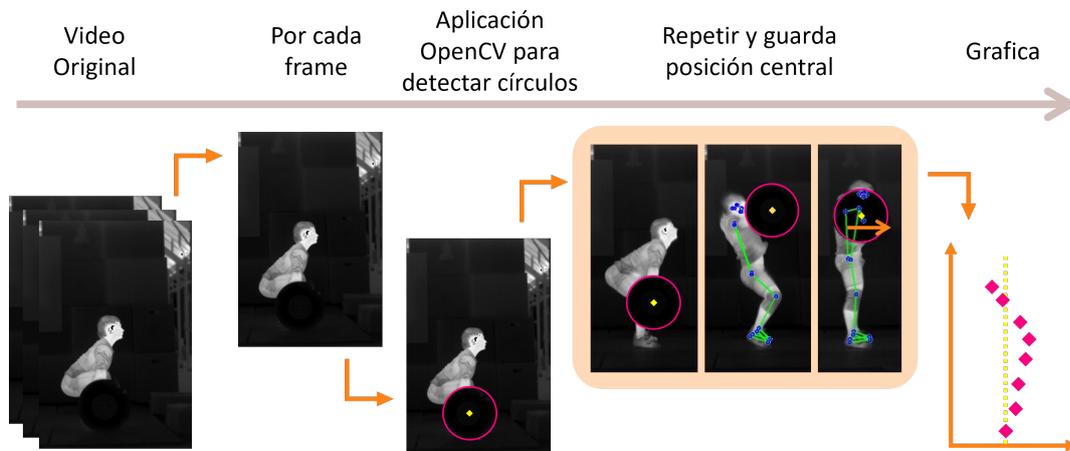


Figura 3.2.4: Diagrama de pasos para determinar la trayectoria de la barra.
Fuente: *Elaboración Propia.*

3.2.2. Información térmica

Aunque el objetivo de usar las imágenes IR es facilitar la detección de cuerpo humano a AQA, se puede aprovechar esta información para extraer la temperatura corporal de los deportistas. Aquí destacamos otra ventaja de usar imagen IR, nos entrega información térmica, que la imagen convencional no puede.

Para determinar la temperatura de los atletas, se siguen los pasos descritos en la figura 3.2.6. A partir de los ROI identificados por “Media pipe” en los videos infrarrojos, se seleccionaron 14 partes a medir (detalladas en la figura 3.2.5). Estas partes están formadas por 4 puntos y 10 uniones de entre 2 ROI. Se decidió que el área por zona tenga 5 pixeles vecinos de ancho.

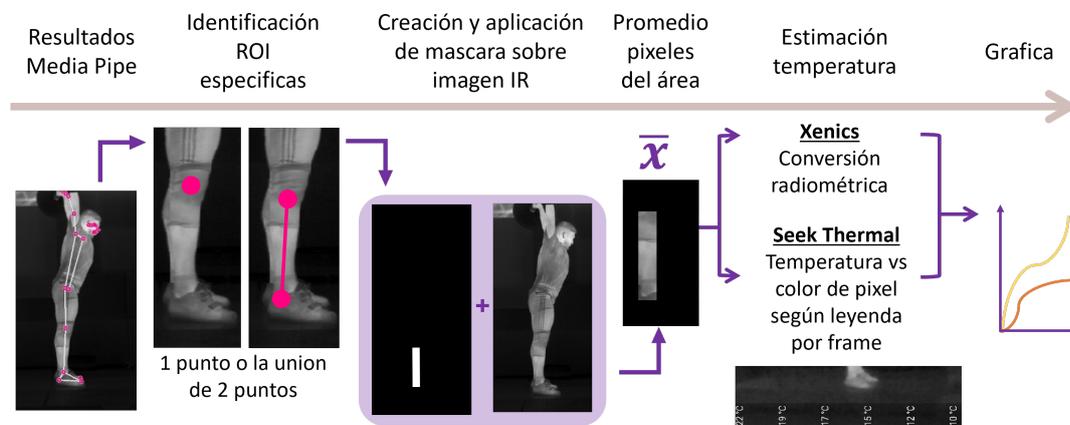


Figura 3.2.5: Diagrama de pasos para determinar la temperatura
Fuente: *Elaboración Propia.*

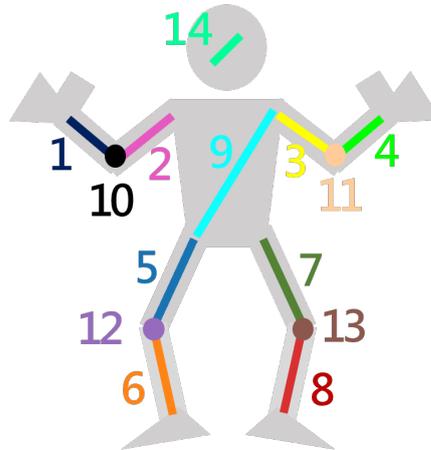


Figura 3.2.6: Puntos de temperatura medidos.

Fuente: Elaboración Propia.

Después de saber las coordenadas de estas partes, se creó una máscara para cada una. Esta fue aplicada a la imagen térmica original para extraer los píxeles incluidos en dicha área. Los valores de estos píxeles fueron promediados. Luego se estimó la temperatura según el tipo de video. Para los videos de la cámara Xenics se utilizó una escala radiométrica. Para este caso se consideró la emisividad de la piel como 1, tal como lo propone Steketee en su trabajo (59). Cabe mencionar que esta cámara cuenta con un software más completo, que permite al usuario cargar su propia escala radiométrica. Para este trabajo todos los videos se configuraron con la misma relación de temperatura y valor de píxel, independientemente del rango de valores presentes en la escena.

Para el caso de los videos de la cámara “Seek Thermal”, se estimó la temperatura de acuerdo con la leyenda inferior de cada escena. Esta leyenda muestra la equivalencia de color (y valor) de píxel versus la temperatura, la que esta anotada en ciertos tramos (como esta en la Figura 3.2.6 en el quinto paso). Para esta cámara el valor de píxel por temperatura cambia en cada escena, ya que el valor se ajusta según las temperaturas extremas que detecte. Para estimar la temperatura por área, por cada frame se debió implementar un algoritmo de aprendizaje automático bayesiano para detectar los valores de la temperatura en los puntos extremos, ubicados en los límites de la leyenda. Luego, sabiendo los valores de los píxeles en sus puntos extremos, se calculó una ecuación de la recta. Con esta ecuación, se obtuvo la temperatura para cada área.

La operación detallada se repite para cada zona y frame, para posterior leer todo el

video llegar a graficar la progresión de temperatura a lo largo de todo el ejercicio.

Capítulo 4

Resultados

4.1. Funcionamiento algoritmo

Primero se hablará como funciona el algoritmo en la detección de pose para los 3 videos. En la Figura 4.1.1 y Figura 4.1.2 observamos a un mismo voluntario en las 3 cámaras distintas ((a) video convencional, (b) video “Xenics” y (c) video “Seek Thermal”), para la BD1 y BD2, respectivamente.

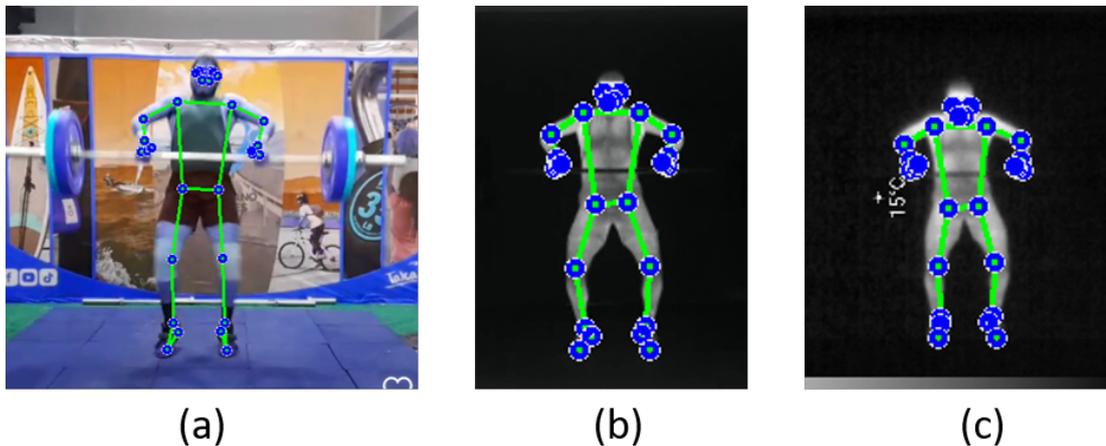


Figura 4.1.1: Resultados de detección de pose para BD1: (a) Imagen Convencional (b) Imágenes “Xenics” (c) Imágenes “Seek Thermal”

Fuente: Elaboración Propia.

Para los videos convencionales, se observó que el cuerpo humano se detecta correctamente la mayoría de las veces cada una de sus partes. Hay que mencionar que la BD1 la detección de las extremidades inferiores es intermitente entre

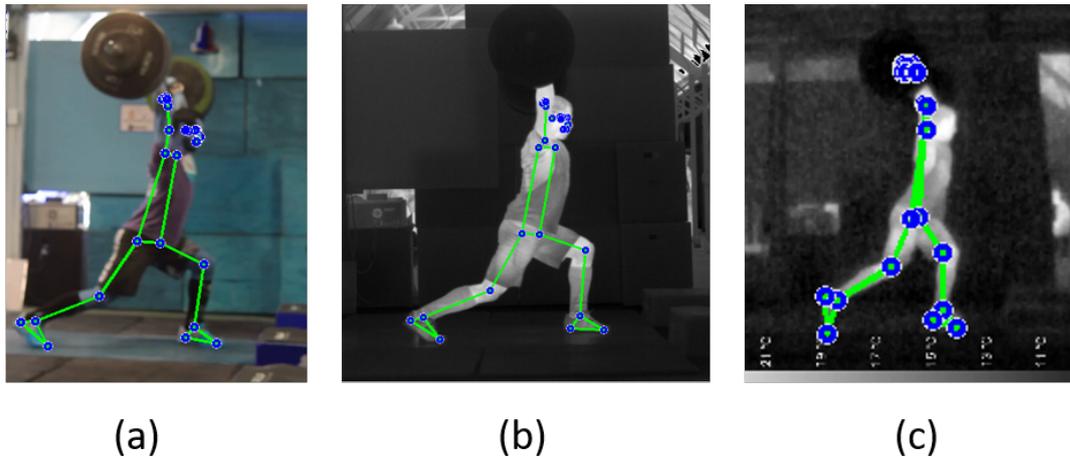


Figura 4.1.2: Resultados de detección de pose para BD2: (a) Imagen Convencional (b) Imágenes “Xenics” (c) Imágenes “Seek Thermal”

Fuente: Elaboración Propia.

diferentes fotogramas.

En los videos de la cámara “Xenics”, la detección de las partes del cuerpo humano se realiza de una manera mucho más estable y continua en la BD1, respecto a la BD2. En este último set observamos dificultades debido a que el disco de peso se superpone en una parte del cuerpo del atleta, lo que le quita información al algoritmo.

Por otro lado, los videos capturados por la cámara “Seek Thermal” se detectan bien para la BD1, pero con menor acierto que en los videos “Xenics”. En cambio, para la BD2 tienen una menor tasa de detección del cuerpo. Este problema se atribuye a su baja resolución (relación señal/ruido (SNR)). En la Figura 4.1.2 (c) se puede apreciar esto al detectar correctamente las extremidades, pero no detectar correctamente la cara del atleta.

En resumen, en los videos de la BD1, las 3 cámaras logran detectar bien los cuerpos de los levantadores de pesas, fallando en algunos cuadros. Para el caso de la BD2, el algoritmo le dificulta identificar el cuerpo. Este problema se tratará más específicamente en la sección 4.3.

En general, considerando que este algoritmo está diseñado y entrenado en imágenes del espectro visible, este algoritmo demuestra un buen rendimiento en las imágenes térmicas. Es más, muestra una mayor capacidad para detectar individuos en más frame en las imágenes infrarrojas capturadas por la cámara “Xenics”, en

comparación con el espectro visible. Esta diferencia se debe a que los seres humanos emiten una radiación intensa, lo que los resalta del entorno. Esta característica mejora la detección de cuerpos, que es uno de los desafíos de AQA. Otro beneficio del uso de los videos IR es la capacidad de obtener información espacial y térmica a partir de estas imágenes, siendo este último aspecto imposible de lograr con las imágenes convencionales.

Haciendo un análisis cuantitativo, se evaluaron el Error Cuadrático Medio (RMSE) y el Error Medio Absoluto (MAE) entre los ángulos estimados por la cámara Xenics y la cámara convencional. Estas estimaciones fueron contrastadas con anotaciones manuales. Para llevar a cabo este proceso, se seleccionó una muestra de 100 frame donde el algoritmo detectó correctamente al atleta. Los resultados se presentan de manera resumida en la Tabla 4.1.1. Se concluye que las imágenes convencionales tienen mejor índice de RMSE y MAE, que las imágenes IR. Pero al ser una diferencia en promedio pequeña de 12°, *muestra que estas mediciones buenas y tienen potencial para ser mejorada.*

Cuadro 4.1.1: Comparación estimación ángulos según video

Video	RMSE	MAE
Convencional	17.94	10.18
Xenics	22.21	12.20

Fuente: Elaboración Propia.

4.2. Información extraída

Para esta sección mostraremos la información térmica y especial de uno de los voluntarios de la BD2 mientras realiza la técnica Clean & Jerk, levantando 3 pesos diferentes.

4.2.1. Detección de angulos

En esta sección observamos la progresión de los ángulos de las extremidades inferiores y la espalda a lo largo del ejercicio (Jerk). El resultado está en la Figura 4.2.1. Aquí encontramos 3 graficas (una por cada esfuerzo) e inmediatamente bajo ellas, la secuencia de imágenes del deportista haciendo el ejercicio. En estas imágenes se señala con colores las partes graficadas. La secuencia de la izquierda es la fase "Dip and Drive" del Jerk, mientras que la secuencia de la derecha es

“Drop, receive and Split” del Jerk,

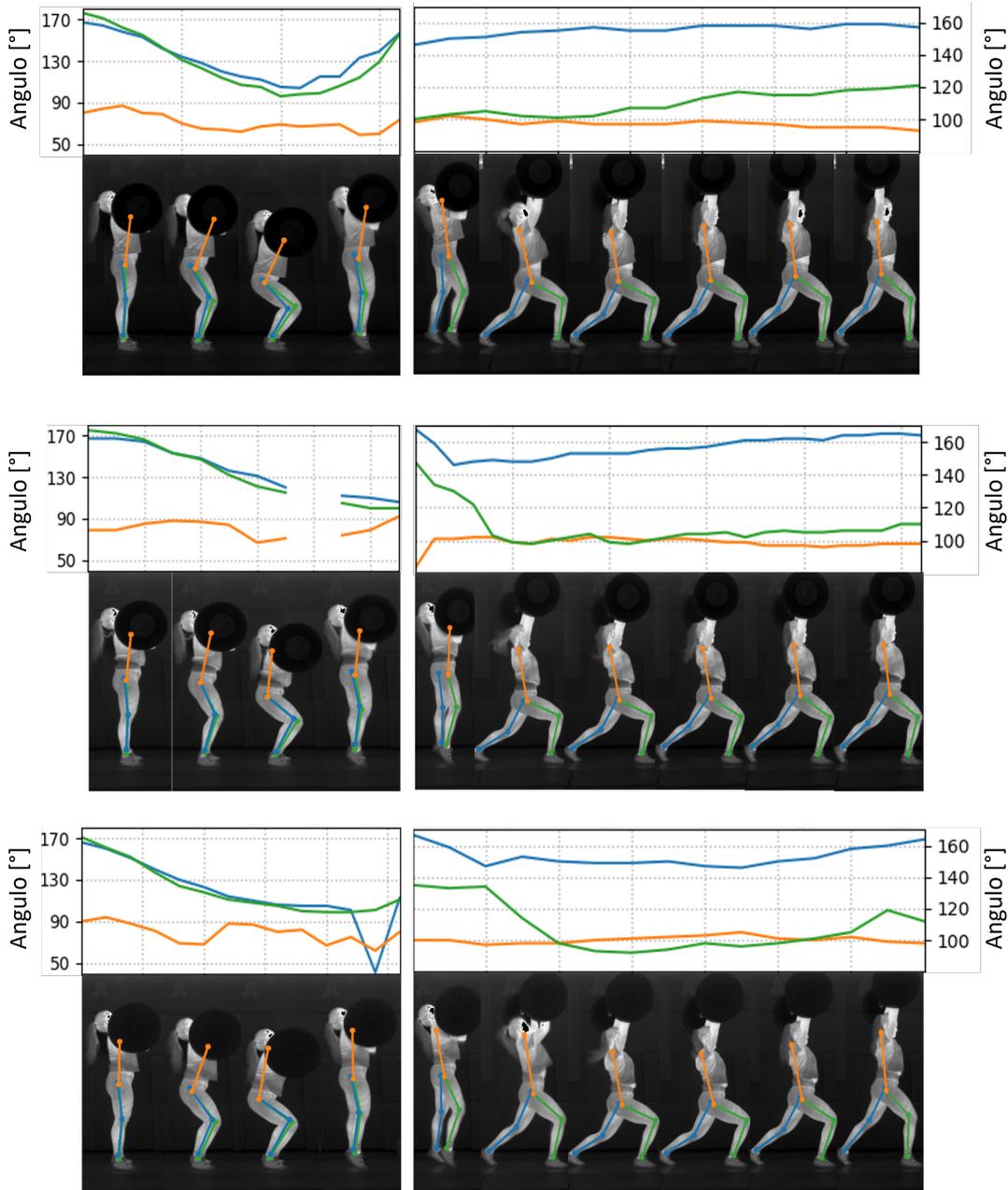


Figura 4.2.1: Resultados de detección de ángulos en imágenes “Xenics”

Fuente: Elaboración Propia.

Viendo el funcionamiento del algoritmo para la detección de los ángulos para el ejercicio “Dip and Drive”, se ve que la línea de la espalda no está dibujada con precisión, ya que si bien detecta bien el punto de la cadera, no siempre es capaz de ubicar correctamente el hombro. Esto puede ser cuando el disco del peso cubre parte del cuerpo en la escena. Observando las piernas, vemos que el algoritmo

consigue detectar y medir correctamente el ángulo de flexión de la pierna derecha, pero no para la izquierda que es tapada por la anterior mencionada. En este caso, el algoritmo asume que ambas piernas tienen posiciones similares. Con respecto al segundo ejercicio, la detección y cálculo del ángulo es más precisa, tanto para la espalda como para la pierna derecha e izquierda.

Analizando los movimientos del voluntario, vemos que en la primera etapa del ejercicio, las piernas tienen una flexión de rodilla similar para los 3 esfuerzos. La flexión mínima de rodilla alcanza un valor entre 98° y 105° , por lo que podemos concluir que no fue afectada por el peso a levantar. Respecto a la espalda, tiene una inclinación muy leve, que en general se mantiene recta en los 3 casos, pero cuando el ejercicio se realiza con mayor carga, la espalda tiende a inclinarse más, llegando hasta 75° , a diferencia de los 90° alcanzados por movimientos con menos esfuerzo.

Para el “Drop, receive and Split”, observamos que la espalda aumenta su ángulo de inclinación cuando el peso a levantar es mayor, estando por debajo de 100° cuando es un peso que se domina con facilidad, y superando los 100° cuando es mayor el esfuerzo. Se requiere una reacción de equilibrio por parte del levantador de pesas. Para la pierna derecha vemos que cuanto mayor es el peso que levantar, el atleta tiende a doblar menos la rodilla. En cambio, la rodilla izquierda tiende a compensar al tener la mayor flexión.

4.2.2. Trayectoria de la Barra

El resultado de la trayectoria de barra se muestra la figura 4.2.2. Donde la imagen (a), (b) y (c) corresponde a los distintos levantamientos del deportista. Cada gráfica muestra una imagen IR de fondo del instante en que inicia el “Clean” y el “Jerk”. Encima de ella van los puntos naranjos que corresponde a la detección del centro del peso durante todo el ejercicio. La línea magenta es la referencia del punto vertical de partida.

Respecto al funcionamiento del algoritmo, vemos que pudo detectar mayoritariamente las veces el centro de la pesa. Un hecho aislado aparece en la imagen (a), donde detectó incorrectamente el círculo en el glúteo del deportista.

Antes de analizar al deportista, es bueno destacar que esta métrica ha sido ampliamente estudiada en la halterofilia porque permite ver la estabilidad del

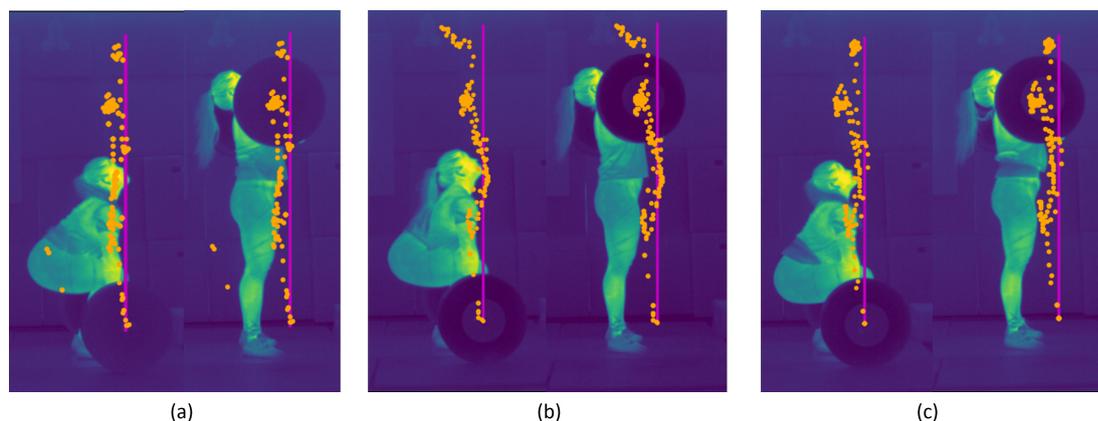


Figura 4.2.2: Trayectoria barra en diferentes casos: (a) 70 % esfuerzo. (b) 80 % esfuerzo. (c) 90 % esfuerzo.

Fuente: Elaboración Propia.

atleta durante el ejercicio, llegando a clasificarlo según técnica de levantamiento, sexo, edad, esfuerzo, etc., tal como lo mencionan Bruenger y Voroby (58) y (60). Otro estudio de Winwood (61), mostro que un grupo de varones tendían a recorrer la barra alejada del eje central, o presentando una ligera desviación en su fase inicial de levantamiento, luego cruzaban el eje central, para finalmente elevarla alejándose del eje. Este resultado es similar a lo observado en el resumen de Rossi (62), donde observo la trayectoria para la técnica de “snatch” durante un torneo internacional de levantamiento de pesas. Concluyo que la mayoría de las damas suben la barra más cercana a la línea vertical, sin sobrepasar este eje, al contrario de los hombres, donde la mayoría tiende a sobrepasar este eje y seguir dibujando un plano vertical.

Para el caso particular de nuestra deportista, se observa que a medida que aumenta el peso a levantar, la técnica de “Clean & Jerk” la hace más cerca del eje vertical central, tal como lo concluyo la investigación de Rossi. También, a medida que aumenta la carga a levantar, la verticalidad varía, lo que permite validar la inferencia de mayor control ante una menor carga, para el mismo atleta. Es posible notar que con el aumento de carga, la reacción espontánea del cuerpo para lograr el equilibrio sobre un peso inicialmente desconocido de gran magnitud se traduce en sobrepasar el eje vertical de referencia durante la etapa de “Clean”.

4.2.3. Información termica

Para esta sección se muestran los resultados similares a la de los ángulos. Así vemos en la Figura 4.2.3

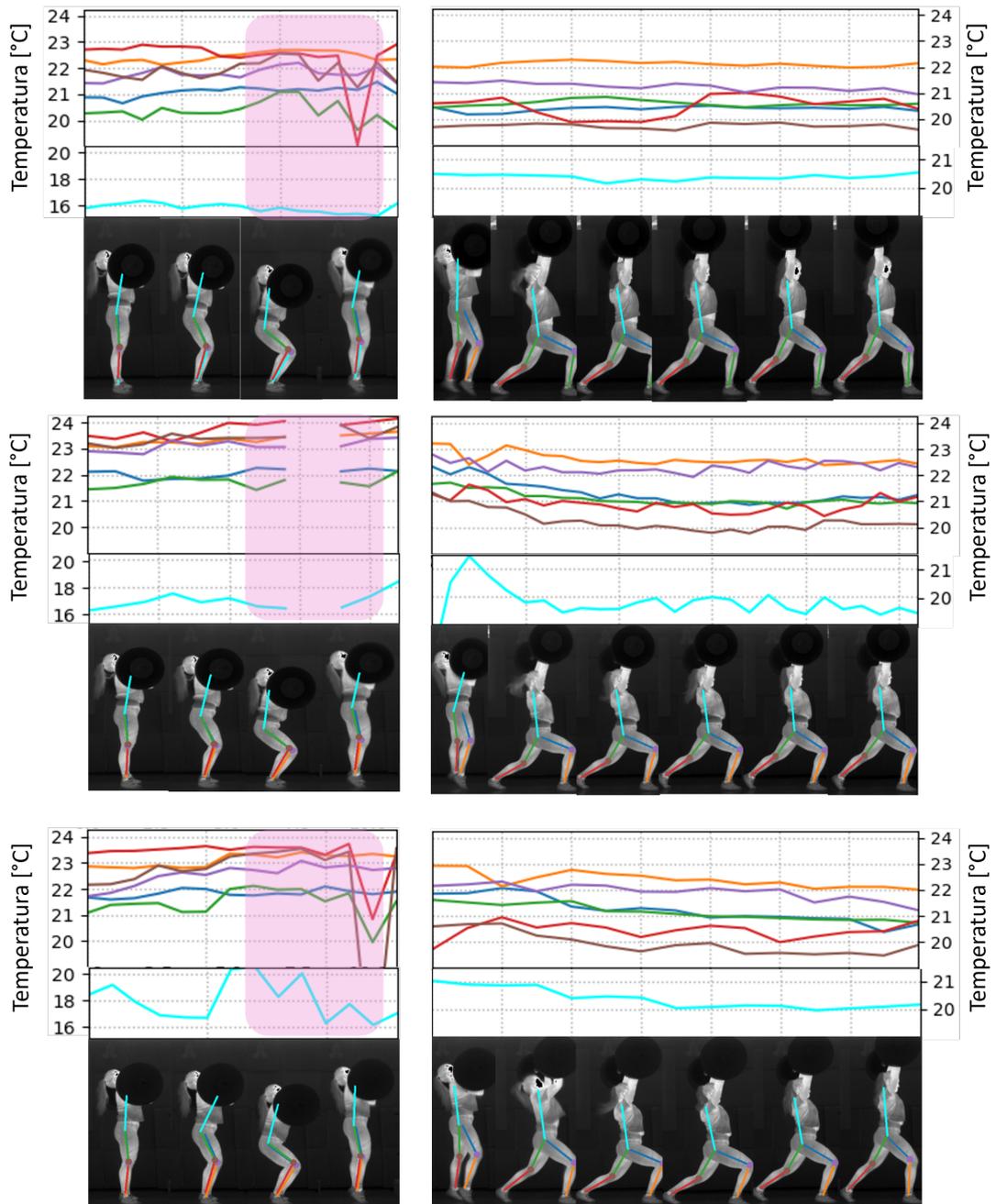


Figura 4.2.3: Resultados de detección de temperatura en imágenes “Xenics”. Grafica superior: 70 % esfuerzo. Grafica intermedia: 80 % esfuerzo. Grafica inferior: 90 % esfuerzo

Fuente: Elaboración Propia.

Lo primero observado es que la temperatura estimada es más baja que la temperatura corporal, debido a la presencia de la ropa del deportista. Cada prenda tiene factores de emisividad y absorción distintas, lo que provoca una reducción en la radiación térmica captada por las cámaras infrarrojas. Como resultado, no es posible aplicar el mismo ajuste de manera uniforme para todos los casos (6). Es por ello, que en esta trabajo el análisis de esta sección se centra en la variación de temperatura, sin mencionar el valor exacto.

En general, se presenta una variación de temperatura cuando el cuerpo debe ejercer una fuerza explosiva. Esto ocurre cuando el atleta debe elevar la barra en la fase de “drip & drive” (destacado con un cuadro rosado en la gráfica). La zona que presenta una gran variación de temperatura es el cuádriceps (línea verde y azul) y la espalda (línea calipso). Estudios previos, como el de kuniszyk, menciona que existe un aumento de la temperatura en la zona de los hombros al momento de realizar el “Jerk”, especialmente al inicio de este, donde el máximo esfuerzo muscular recae sobre ellos. (54)

4.3. Problemas de detección

Como se mencionó en el inicio de este capítulo, en general la detección de pose con “Media Pipe” ha tenido buenos resultados para los tres tipos de videos, siendo el que tiene peor detección los videos de la cámara “Seek Thermal”. A continuación se mostraran los principales problemas presentados, resumidos en la Figura 4.3.1.

El primer problema encontrado es cuando el algoritmo detecta áreas del fondo de la escena como partes del cuerpo humano. Un ejemplo está en la Figura 4.3.1 (a), en donde el algoritmo detecta incorrectamente las piernas, y las confunde con un objeto del fondo. Esta equivocación ocurrió mayormente en las imágenes del espectro visible, ya que en las imágenes IR el fondo tiene una tonalidad homogénea, que no resalta sobre el deportista. Este problema muestra una ventaja de usar imágenes IR sobre una de espectro visible. Como la radiación del cuerpo humano es mayor a la del fondo (paredes y otros), los límites del atleta destacan en la escena.

Particularmente para los videos de BD1, se observa que en algunos frame el algoritmo no detecta correctamente los ROI, en especial las que corresponde a las extremidades del cuerpo en las imágenes IR. La Figura 4.3.1 (b.1), (b.2) y (b.3)

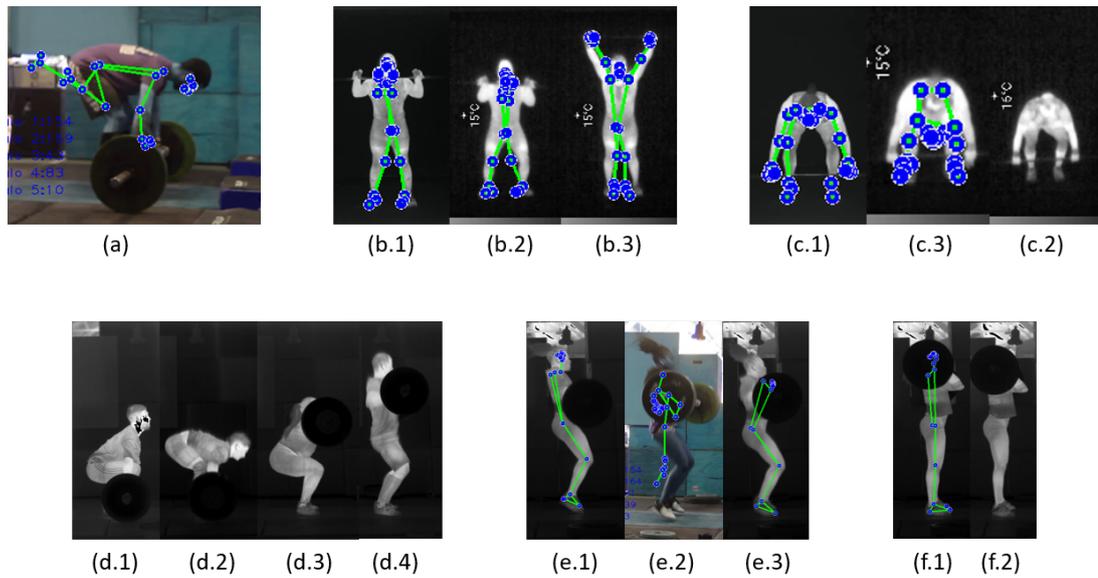


Figura 4.3.1: Diferentes problemas presentados en la detección de pose. Grafica superior: 70 % esfuerzo. Grafica intermedia: 80 % esfuerzo. Grafica inferior: 90 % esfuerzo

Fuente: Elaboración Propia.

muestra este inconveniente para los 2 videos IR (Xenics y Seek). En este mismo grupo, también existen problemas para detectar a los deportistas cuando están cuclillas ((c.1) Imagen Xenics y (c.3) Imagen Seek), hasta llegando en algunos frame a no identificarlos ((c.2) Imagen Seek). La causa de este problema puede ser porque el algoritmo no está diseñado para trabajar con las imágenes IR y la información que presentan; junto con ser poses difíciles para comprender y estimar pose.

Para los videos de la BD2, existieron posiciones en las que el algoritmo no detectó a los atletas. La Figura 4.3.1 (d.1), (d.2), (d.3) y (d.4) muestran este inconveniente sobre imágenes IR para diferentes fases del ejercicio. Este problema es atribuible a que el disco de pesas se interpone entre el atleta y la cámara. Por dicha razón, el algoritmo no logra poseer toda la información necesaria para detectar los ROI. Siguiendo con esta dificultad, en otros instantes el algoritmo logra detectar algunos ROI, ya sean de manera correcta o incorrecta. En la Figura 4.3.1 (e) vemos que este problema se presenta para todos los videos. Sin embargo, se puede observar que en la imagen IR ((e.1) y (e.3)) se detecta correctamente gran parte del cuerpo, y las detecciones son sobre el atleta. En cambio, para la imagen del espectro visible ((e.2)), puede llegar a detectar como ROI partes que ni siquiera son del deportista.

Por último, existen problemas en la continuidad de detección desde un frame a otro. La Figura 4.3.1 (f.1) muestra un frame en el que “Media Pipe” puede identificar gran parte del cuerpo, pero que en siguiente ((f.2)) no logra hacerlo. Cabe mencionar que este algoritmo se uso con la configuración de utilizar información de la escena anterior para determinar la pose en el actual frame. Pero, aunque tenga esta opción se presentan fallas.

Para poder cuantificar la aparición de cada problema descrito, se muestra la tabla 4.3.1. Esta contiene una muestra de 4 videos de la BD2 y 2 de la BD1, en donde se especifica el porcentaje del video (para cada cámara) en que el algoritmo puede detectar bien el cuerpo (columna A), cuando detecta mal al deportista, pero ciertas ROI las confunde con el fondo de la escena (columna B), cuando detecto al deportista, pero los ROI están mal ubicadas dentro del cuerpo del atleta (columna C) y cuando no detecta a ningún cuerpo (columna D).

De la tabla resaltamos lo antes comentado. Que lo videos grabados por la cámara “Seek Thermal” en la BD2 tienen malas predicciones, pero para la BD1 predice sobre el 70 % bien. En la mayoría de estos casos, tanto los videos de la cámara “Xenics” como los de espectro visible, logran estimar bien el cuerpo sobre un 60 % de las veces. También se refleja que los errores que se confunden con el medio (columna B), se presentan mayoritariamente en los videos convencionales, por lo que mostramos una mejora al usar estas cámaras para esta tarea.

Hacer otro análisis, como de frame a frame no es un buen parámetro. Por un lado, cada cámara tiene su propio frame rate, por lo que las escenas no son exactas. Y por el otro lado, comparar los videos provenientes de la misma cámara no es posible, porque cada uno varía en tiempo de filmación y/o movimientos documentados.

Cuadro 4.3.1: Porcentaje estimación algoritmo por cada video

BD - N° video	Camará	Porcentaje detección por video (%)			
		A	B	C	D
1-BD2	Convencional	65.71	23.75	10	0.5
	Seek Thermal	51.57	10.71	8.05	29.67
	Xenics	48.57	28.6	11.4	11.43
2-BD2	Convencional	63.39	16.17	15.8	4.17
	Seek Thermal	16.67	0	2.63	80.70
	Xenics	77.03	6.67	3.33	12.67
3-BD2	Convencional	86.95	3.88	7.71	1.46
	Seek Thermal	62.5	7.3	7.3	22.92
	Xenics	94.45	2.21	3.33	0
4-BD2	Convencional	3.88	35.67	40.0	9.05
	Seek Thermal	73.16	5.63	6.06	15.15
	Xenics	67.81	2.30	6.90	22.99
5-BD1	Convencional	98.5	0.5	1	0
	Seek Thermal	70.4	29.6	0	0
	Xenics	78.4	21.6	0	0
6-BD1	Convencional	94.2	5.8	0	0
	Seek Thermal	73.4	8.8	7.6	10.2
	Xenics	78.4	19.6	0	2

Cuadro 4.3.2: Tipos de detecciones: A. Detección correcta. B. Detección parcial fuera del cuerpo (Detecta ROI incorrectamente en partes fuera del atleta). C. Detección parcial a dentro del cuerpo (Detecta ROI incorrectamente en partes a dentro del atleta). D. No detecta cuerpo

Fuente: Elaboración Propia.

Capítulo 5

Conclusión

5.1. Conclusion

En este trabajo se aplicó la técnica de “AQA” y “estimación de pose” en vídeos e imágenes infrarrojas sobre levantadores de pesas. Con ello fue posible obtener información térmica y espacial de los deportistas, datos que pueden ser usados para el estudio biomecánico de esta disciplina. A la vez, la información térmica obtenida de los participantes apoyaron a contribuir nueva información de temperatura sobre este deporte.

El primer desafío fue aprender y comprender la técnica de computer vision de “AQA” y “estimación de pose”. Para este trabajo se empleó el algoritmo de inteligencia artificial “media pipe”, el cual estima pose en imágenes de espectro invisible, pero en este caso fue aplicado sobre imágenes IR. El uso de imágenes en este espectro permitió inducir a menos errores en la detección de cuerpo humano, debido que el cuerpo posee una alta radiación, lo que destaca a la persona del fondo de la escena, facilitando su detección. Se debe recordar que este es un problema que presenta los algoritmos de computer vision para la detección de pose.

En esta investigación se observó el resultado en 2 cámaras IR de rango lejano con distintas tecnologías y diferentes resoluciones de imagen. Esto afectó el rendimiento del algoritmo de media pipe en la detección de personas, se observó que las imágenes generadas con la cámara de mejor resolución tuvieron mejor estimación de pose que las tomadas con la de menor resolución, sin embargo, es bueno destacar que

este algoritmo fue entrenado con imágenes de espectro visible, por lo que podemos concluir que tuvo muy buen desempeño para imágenes IR.

Otro desafío fue generar la base de datos de levantadores de pesas, grabando un mismo ejercicio en 3 cámaras diferentes (2 cámaras infrarrojas de rango lejano y una cámara espectro visible). Esto fue posible gracias a la colaboración de los clubes de halterofilia de la gran Concepción, quienes fueron voluntarios para este trabajo. Cabe mencionar que al utilizar información biológica fue necesario pedir permiso a la comisión de ética de la universidad. Sus datos fue utilizada de forma anónima.

5.2. Trabajo Futuro

Este trabajo tiene mucho potencial y cosas por hacer. Un punto a trabajar es sobre la base de datos creada. Esta se podría ampliar a más videos de pesistas, grabar a estos mismos en otros ejercicios y/o grabar otros deportes (un caso puede ser para power lifting, deporte que está haciendo investigado en tecnología infrarroja).

Otro punto a trabajar es en la mejora del algoritmo de detección de pose. Se podría entrenar un algoritmo de inteligencia artificial especializado en imágenes infrarrojas, y así poder bajar el error en la detección de cuerpos hecha en este trabajo. Con esta mejora, se podrían evaluar ejercicios más complejos y obtener mayor información. En paralelo, se podrían entrenar algoritmos de machine learning para automatizar la evaluación del movimiento, pudiendo evaluar la postura y que no exista una carga de algún lado del cuerpo observado por estrés térmico entre lado derecho e izquierdo.

Por último, este trabajo podría tener aplicaciones más allá del deporte, hacia la el mundo de la rehabilitación y tele rehabilitación.

Bibliografía

- [1] J. R. Brotherhood, “Heat stress and strain in exercise and sport,” *Journal of Science and Medicine in Sport*, vol. 11, no. 1, pp. 6–19, 2008. Heat Stress in Sport.
- [2] M. Diakides, J. D. Bronzino, and D. R. Peterson, *Medical infrared imaging: principles and practices*. CRC press, 2012.
- [3] D. Wendt, L. J. Van Loon, and W. D. Marken Lichtenbelt, “Thermoregulation during exercise in the heat,” *Sports medicine*, vol. 37, no. 8, pp. 669–682, 2007.
- [4] C. L. Lim, C. Byrne, and J. K. Lee, “Human thermoregulation and measurement of body temperature in exercise and clinical settings,” *Annals Academy of Medicine Singapore*, vol. 37, no. 4, p. 347, 2008.
- [5] M. Sillero-Quintana, P. M. Gomez-Carmona, and I. Fernández-Cuevas, “Infrared thermography as a means of monitoring and preventing sports injuries,” in *Research Anthology on Business Strategies, Health Factors, and Ethical Implications in Sports and eSports*, pp. 832–865, IGI Global, 2021.
- [6] I. Fernández-Cuevas, J. C. Bouzas Marins, J. Arnáiz Lastras, P. M. Gómez Carmona, S. Piñonosa Cano, M. Ángel García-Concepción, and M. Sillero-Quintana, “Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review,” *Infrared Physics Technology*, vol. 71, pp. 28–55, 2015.
- [7] J. Marins, I. Fernández-Cuevas, J. A. Lastras, A. Fernandes, and M. S. Quintana, “Applications of infrared thermography in sports. a review,” *International Journal of Medicine and Science of Physical Activity and Sport*, in press, vol. 15, no. 60, pp. 805–824, 2013.
- [8] V. L. Escamilla-Galindo, A. Estal-Martínez, J. G. Adamczyk, C. J. Brito, J. Arnaiz-Lastras, and M. Sillero-Quintana, “Skin temperature response to unilateral training measured with infrared thermography,” *Journal of exercise rehabilitation*, vol. 13, no. 5, p. 526, 2017.
- [9] J. C. Siegler, C. M. Mermier, F. T. Amorim, R. J. Lovell, L. R. McNaughton, and R. A. Robergs, “Hydration, thermoregulation, and performance effects

- of two-sport drinks during soccer training sessions,” *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 22, pp. 1394–1401, 2008.
- [10] J. Bouzas Marins, A. de Andrade Fernandes, D. Gomes Moreira, F. Souza Silva, C. M. A. Costa, E. Pimenta, and M. Sillero-Quintana, “Thermographic profile of soccer players’ lower limbs,” *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, vol. 7, no. 1, pp. 1–6, 2014.
- [11] J. I. Priego Quesada, A. G. Lucas-Cuevas, R. Salvador Palmer, P. Pérez-Soriano, and R. M. Cibrián Ortiz de Anda, “Definition of the thermographic regions of interest in cycling by using a factor analysis,” *Infrared Physics Technology*, vol. 75, pp. 180–186, 2016.
- [12] J. I. Priego Quesada, F. P. Carpes, R. Salvador Palmer, P. Pérez-Soriano, and R. M. Cibrián Ortiz de Anda, “Effect of saddle height on skin temperature measured in different days of cycling,” *SpringerPlus*, vol. 5, no. 1, pp. 1–9, 2016.
- [13] A. del Estal, C.-J. Brito, V.-E. Galindo, A. Lopez Diaz de Durana, E. Franchini, and M. Sillero-Quintana, “Thermal asymmetries in striking combat sports athletes measured by infrared thermography,” *Science Sports*, vol. 32, no. 2, pp. e61–e67, 2017.
- [14] D. Gomes Moreira, C. José Brito, J. J. de Almeida Ferreira, J. C. Bouzas Marins, A. López Díaz de Durana, J. Couceiro Canalejo, J. Butragueño Revenga, and M. Sillero-Quintana, “Lactate concentration is related to skin temperature variation after a specific incremental judo test,” *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 35, pp. 2213–2221, 2021.
- [15] A. G. da Silva, M. R. Albuquerque, C. J. Brito, G. M. Stroppa, S. A. F. Oliveira, M. Sillero-Quintana, and J. C. B. Marins, “Effect of whole-, upper-, and lower-body high-intensity rowing exercise on skin temperature measured by thermography,” *Research Quarterly for Exercise and Sport*, vol. 0, no. 0, pp. 1–11, 2022. PMID: 35323083.
- [16] J. I. Priego-Quesada, A. S. Machado, M. Gil-Calvo, I. Jimenez-Perez, R. M. Cibrián Ortiz de Anda, R. Salvador Palmer, and P. Perez-Soriano, “A methodology to assess the effect of sweat on infrared thermography data after running: Preliminary study,” *Infrared Physics Technology*, vol. 109, p. 103382, 2020.
- [17] H. Pirsavash, C. Vondrick, and A. Torralba, “Assessing the quality of actions,” in *European conference on computer vision*, pp. 556–571, Springer, 2014.
- [18] P. Parmar and B. Morris, “Action quality assessment across multiple actions,” in *2019 IEEE winter conference on applications of computer vision (WACV)*, pp. 1468–1476, IEEE, 2019.
- [19] J. C. B. Marins, I. Fernández-Cuevas, J. Arnaiz-Lastras, A. Fernandes, M. Sillero-Quintana, *et al.*, “Aplicaciones de la termografía infrarroja en

- el deporte: Una revisión,” *Revista internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física del Deporte*, 2015.
- [20] J. E. Hall, *Guyton & Hall. Tratado de fisiología médica*. Elsevier Health Sciences, 2021.
- [21] I. Fernández-Cuevas, J. C. B. Marins, J. A. Lastras, P. M. G. Carmona, S. P. Cano, M. Á. García-Concepción, and M. Sillero-Quintana, “Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review,” *Infrared Physics & Technology*, vol. 71, pp. 28–55, 2015.
- [22] J. I. P. Quesada, *Application of infrared thermography in sports science*. Springer, 2017.
- [23] M. N. Cramer and O. Jay, “Biophysical aspects of human thermoregulation during heat stress,” *Autonomic Neuroscience*, vol. 196, pp. 3–13, 2016.
- [24] E.-K. Ng, “A review of thermography as promising non-invasive detection modality for breast tumor,” *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 48, no. 5, pp. 849–859, 2009.
- [25] B. F. Jones, “A reappraisal of the use of infrared thermal image analysis in medicine,” *IEEE transactions on medical imaging*, vol. 17, no. 6, pp. 1019–1027, 1998.
- [26] B. B. Lahiri, S. Bagavathiappan, T. Jayakumar, and J. Philip, “Medical applications of infrared thermography: a review,” *Infrared Physics & Technology*, vol. 55, no. 4, pp. 221–235, 2012.
- [27] A. von Lüthmann, H. Wabnitz, T. Sander, and K.-R. Müller, “M3ba: a mobile, modular, multimodal biosignal acquisition architecture for miniaturized eeg-nirs-based hybrid bci and monitoring,” *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 64, no. 6, pp. 1199–1210, 2016.
- [28] W. Keyl and P. Lenhart, “Thermography in sport injuries and lesions of the locomotor system due to sport,” *Fortschritte der Medizin*, vol. 93, no. 3, pp. 124–126, 1975.
- [29] M. Gil-Calvo, J. Herrero-Marco, R. de Jesús González-Peña, P. Perez-Soriano, and J. I. Priego-Quesada, “Acute effect of induced asymmetrical running technique on foot skin temperature,” *Journal of Thermal Biology*, vol. 91, p. 102613, 2020.
- [30] M. Weigert, N. Nitzsche, F. Kunert, C. Lösch, L. Baumgärtel, and H. Schulz, “Acute exercise-associated skin surface temperature changes after resistance training with different exercise intensities,” *International Journal of Kinesiology and Sports Science*, vol. 6, no. 1, pp. 12–18, 2018.
- [31] G. Tanda, “The use of infrared thermography to detect the skin temperature response to physical activity,” in *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 655, p. 012062, IOP Publishing, 2015.

- [32] N. Ridzuan, A. Azaman, K. Soeed, I. Zulkapri, and A. A. Wahab, "Evaluation of muscle fatigue using infrared thermal imaging technique with assisted electromyography," *Malaysian J. Fundam. Appl. Sci.*, vol. 13, no. 4-2, pp. 509–514, 2017.
- [33] C. Hildebrandt, C. Raschner, and K. Ammer, "An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in austria," *Sensors*, vol. 10, no. 5, pp. 4700–4715, 2010.
- [34] J. Bauer and E. Dereń, "Standardization of infrared thermal imaging in medicine and physiotherapy," *Acta Bio-Optica et Informatica Medica Inżynieria Biomedyczna*, vol. 20, no. 1, pp. 11–20, 2014.
- [35] Z. Gao, J.-m. Song, H. Zhang, A.-A. Liu, Y.-B. Xue, and G.-p. Xu, "Human action recognition via multi-modality information," *Journal of Electrical Engineering and Technology*, vol. 9, no. 2, pp. 739–748, 2014.
- [36] Y. Zhu, *Multi-Modality Human Action Recognition*. West Virginia University, 2016.
- [37] Y. Liu, Z. Lu, J. Li, T. Yang, and C. Yao, "Global temporal representation based cnns for infrared action recognition," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 25, no. 6, pp. 848–852, 2018.
- [38] Z. Xue, D. Ming, W. Song, B. Wan, and S. Jin, "Infrared gait recognition based on wavelet transform and support vector machine," *Pattern recognition*, vol. 43, no. 8, pp. 2904–2910, 2010.
- [39] J. Imran and B. Raman, "Deep residual infrared action recognition by integrating local and global spatio-temporal cues," *Infrared Physics & Technology*, vol. 102, p. 103014, 2019.
- [40] A. M. De Boissiere and R. Noumeir, "Infrared and 3d skeleton feature fusion for rgb-d action recognition," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 168297–168308, 2020.
- [41] Y. Zhu and G. Guo, "A study on visible to infrared action recognition," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 20, no. 9, pp. 897–900, 2013.
- [42] A. Zia, Y. Sharma, V. Bettadapura, E. L. Sarin, T. Ploetz, M. A. Clements, and I. Essa, "Automated video-based assessment of surgical skills for training and evaluation in medical schools," *International journal of computer assisted radiology and surgery*, vol. 11, no. 9, pp. 1623–1636, 2016.
- [43] G. Bertasius, H. Soo Park, S. X. Yu, and J. Shi, "Am i a baller? basketball performance assessment from first-person videos," in *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*, pp. 2177–2185, 2017.
- [44] C. Liguarsi, J. Tang, H. Nash, C. McClanahan, E. Uboweja, M. Hays, F. Zhang, C.-L. Chang, M. G. Yong, J. Lee, *et al.*, "Mediapipe: A framework for building perception pipelines," *arXiv preprint arXiv:1906.08172*, 2019.

- [45] B. K. Schilling, M. H. Stone, H. S. O'BRYANT, A. C. Fry, R. H. Coglianesi, and K. C. Pierce, "Snatch technique of collegiate national level weightlifters," *The Journal of Strength & Conditioning Research*, vol. 16, no. 4, pp. 551–555, 2002.
- [46] T. Isaka, J. Okada, and K. Funato, "Kinematic analysis of the barbell during the snatch movement of elite asian weight lifters," *Journal of applied biomechanics*, vol. 12, no. 4, pp. 508–516, 1996.
- [47] K. Häkkinen, H. Kauhanen, and P. Komi, "Biomechanical changes in the olympic weightlifting technique of the snatch and clean & jerk from submaximal to maximal loads," *Scand J Sports Sci*, vol. 6, no. 2, pp. 57–66, 1984.
- [48] A. M. S. Rahma and K. Maisa'a Abid Ali, "Proposing an analysis system to monitoring weightlifting based on training (snatch and clean and jerk)," *Baghdad Science Journal*, vol. 15, no. 4, pp. 493–502, 2018.
- [49] J. J. A. Gutiérrez, J. L. L. del Amo, and M. M. Evrard, "Caracterización del tiempo de vuelo en relación con variables biomecánicas del tirón en la arrancada de halterofilia," *Apunts. Educación física y deportes*, vol. 4, no. 118, pp. 68–78, 2014.
- [50] A. Czaplicki, K. Dziewiecki, Z. Mazur, and W. Blajer, "Assessment of internal loads in the joints of the lower extremities during the snatch in young weightlifters," *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, vol. 19, no. 05, p. 1941011, 2019.
- [51] S. Julie *et al.*, "The use of convolution neural network algorithm in the biological image of weightlifting of scapula dyskinesis," *Malaysian Sports Journal*, vol. 1, no. 2, pp. 6–9, 2019.
- [52] M. Beato, A. E. Bigby, K. L. De Keijzer, F. Y. Nakamura, G. Coratella, and S. A. McErlain-Naylor, "Post-activation potentiation effect of eccentric overload and traditional weightlifting exercise on jumping and sprinting performance in male athletes," *PLoS One*, vol. 14, no. 9, p. e0222466, 2019.
- [53] S.-M. Kim, K.-K. Lee, W.-K. Lam, and W. Sun, "Weightlifting load effect on intra-limb coordination of lower extremity during pull phase in snatch: Vector coding approach," *Journal of Sports Sciences*, vol. 37, no. 20, pp. 2331–2338, 2019.
- [54] W. Kuniszyk-Józkowiak, J. Jaszczuk, A. Czaplicki, and P. Szyszka, "Variability of shoulder girdle temperature in the initial phase of the snatch in weightlifting," *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, vol. 21, no. 3, 2019.
- [55] D. Castillo, V. Bento, E. Neves, E. Martinez, F. De Merneck, V. Reis, M. Brioschi, and D. Haddad, "Facial thermal behavior pre, post and 24 h post-crossfit training workout: A pilot study," in *Brazilian Congress on Biomedical Engineering*, pp. 1739–1745, Springer, 2022.

- [56] M. de Aquino Resende, F. J. Aidar, R. B. V. Resende, G. C. Reis, L. de Oliveira Barros, D. G. de Matos, A. C. Marçal, P. F. de Almeida-Neto, A. L. D. de Durana, M. M. Fernández, *et al.*, “Effect of different types of warm-up on strength and skin temperature of paralympic powerlifting athletes,” 2021.
- [57] M. de Aquino Resende, F. J. Aidar, R. B. Vasconcelos Resende, G. C. Reis, L. de Oliveira Barros, D. G. de Matos, A. C. Marçal, P. F. de Almeida-Neto, A. L. Díaz-de Durana, M. Merino-Fernández, *et al.*, “Are strength indicators and skin temperature affected by the type of warm-up in paralympic powerlifting athletes?,” in *Healthcare*, vol. 9, p. 923, MDPI, 2021.
- [58] A. J. Bruenger, S. L. Smith, W. A. Sands, and M. R. Leigh, “Validation of instrumentation to monitor dynamic performance of olympic weightlifters,” *The Journal of Strength & Conditioning Research*, vol. 21, no. 2, pp. 492–499, 2007.
- [59] J. Steketee, “Spectral emissivity of skin and pericardium,” *Physics in Medicine & Biology*, vol. 18, no. 5, p. 686, 1973.
- [60] A. Vorobyev, “Weightlifting. budapest: International weightlifting federation,” 1978.
- [61] P. W. Winwood, J. B. Cronin, S. R. Brown, and J. W. Keogh, “A biomechanical analysis of the strongman log lift and comparison with weightlifting’s clean and jerk,” *International Journal of Sports Science & Coaching*, vol. 10, no. 5, pp. 869–886, 2015.
- [62] S. J. Rossi, T. W. Buford, D. B. Smith, R. Kennel, E. E. Haff, and G. G. Haff, “Bilateral comparison of barbell kinetics and kinematics during a weightlifting competition,” *International Journal of Sports Physiology and Performance*, vol. 2, no. 2, pp. 150–158, 2007.

Apéndice A

Documentación extra

A1. Permiso comisión de etica



Universidad de Concepción
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
Comité de Ética, Bioética y Bioseguridad

CEBB 791-2020

Concepción, octubre de 2020.

CERTIFICADO

El Comité de Ética, Bioética y Bioseguridad de la Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo de la Universidad de Concepción ha revisado el protocolo del Proyecto de Tesis titulado **“USO DE TERMOGRAFÍA INFRARROJA PARA ASISTIR LA EJECUCIÓN DE ACCIONES EN EL DEPORTE”**, presentado por la **SRTA. LAURA ANTONIETA VIAFORA REYES**, Ingeniero Civil Biomédico, candidata al grado de Doctor en Ciencias de la Ingeniería con mención en Ingeniería Eléctrica por la Universidad de Concepción, en calidad de Investigadora Responsable, siendo su Profesor Guía el **DR. SERGIO TORRES INOSTROZA**, académico adscrito al Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción. Mediante este análisis, el Comité ha comprobado que, el referido Proyecto de Tesis, cumple con las normas y procedimientos éticos y bioéticos establecidos nacional e internacionalmente para estudios que consideran la participación de personas.

Bajo las hipótesis de que el uso de imágenes termográficas para asistir a los deportistas, entregará nueva información (térmica) que puede ser usada para mejorar su rendimiento y que la técnica de “evaluación de calidad de acción”, puede ser mejorada usando termografías de infrarrojo, el objetivo general de la presente propuesta es generar una mejora en la técnica de “evaluación de calidad de acción”, mediante el uso de imágenes termográficas y así generar una herramienta para beneficiar a deportistas. Con los resultados de este estudio entiende posible mejorar un programa que asiste a deportistas en la correcta ejecución de movimientos, empleando cámaras térmicas.

El diseño metodológico de la propuesta se describe sobre la base de 04 (cuatro) objetivos específicos, a saber: inicialmente propone aprender el funcionamiento de la técnica de “evaluación de calidad de acción” en imágenes convencionales; después, crear una base de datos de videos deportivos en imágenes infrarrojas y aplicar el algoritmo a la base de datos infrarroja; por último prevé entregar información útil para un estudio biomecánico.

Para el diseño y prueba del programa se requieren videos térmicos de atletas haciendo deporte y para ello propone realizar registros de videos, filmados en una sesión, de deportistas del Cendyr Náutico San Pedro de la Paz, realizando levantamientos de pesas, como parte de sus ejercicios habituales. Dicho registro tomará imágenes por delante del participante, de lado y desde atrás, con una cámara convencional y una cámara térmica. Las filmaciones se iniciarán previo a levantar la pesa y finalizará al soltar el elemento de peso.

Respecto al manejo de las imágenes y los datos, será confidencial, tratado con códigos anonimizados. La custodia de la información está bajo responsabilidad de la Investigadora Responsable, la Ingeniero Civil Biomédico Srta. Laura Viafora Reyes.



Barrio Universitario s/n,
Edificio Empreudec
Fono (56-41) 2204302
Casilla 160 C - Correo 3, secrevrid@udec.cl
Concepción, Chile



100 AÑOS
DE
DESARROLLO
LIBRE DEL
ESPIRITU



Universidad de Concepción
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
Comité de Ética, Bioética y Bioseguridad

La participación de cada sujeto, mayor de 18 años, estará condicionada a los procesos de asentimiento y de consentimiento informado, regularmente aplicados, documentados y aceptados en sus términos, conforme modelo presentado a este Comité institucional. Con este proceso se garantiza la protección y tratamiento confidencial de los datos. Todo lo anterior está rigurosa y detalladamente descrito en la sección "6. Metodología" del presente Proyecto de Tesis doctoral.

La ejecución de las actividades descritas en este proyecto de investigación asegura que no vulnera los derechos y la dignidad de los participantes en el estudio, garantizando la autonomía, la libertad, la voluntariedad y la privacidad de éstos, presentando para ello los métodos de protección que aseguran la confidencialidad de los datos de investigación y de custodia estricta de la información obtenida, observando todas las características formales y necesarias para su validez.

El Comité de Ética, Bioética y Bioseguridad de la Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo de la Universidad de Concepción, considera que el Proyecto de Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias de la Ingeniería con mención en Ingeniería Eléctrica por la Universidad de Concepción, observa los derechos asegurados en la Declaración Universal de los Derechos Humanos, los derechos y principios de la Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos, las Normas Éticas de la Organización Panamericana de la Salud para Investigaciones con Sujetos Humanos, la Constitución de la República de Chile, la Ley N° 20.120 "Sobre la Investigación Científica en el Ser Humano, su Genoma y Prohíbe la Clonación Humana" y la Ley N°19.628, "Sobre Protección de la Vida Privada". Así también, sigue las Sugerencias para Escribir un Consentimiento Informado en Estudios con Personas, del Comité Asesor de Bioética FONDECYT/CONICYT.

En atención a todo lo anterior y dado que Proyecto de Tesis titulado "USO DE TERMOGRAFÍA INFRARROJA PARA ASISTIR LA EJECUCIÓN DE ACCIONES EN EL DEPORTE", presentado por la SRTA. LAURA ANTONIETA VIAFORA REYES, Ingeniero Civil Biomédico, candidata al grado de Doctor en Ciencias de la Ingeniería con mención en Ingeniería Eléctrica por la Universidad de Concepción, en calidad de Investigadora Responsable, no muestra elementos que puedan transgredir las normas y principios éticos y bioéticos de la investigación en seres humanos, así como también los principios rectores de nuestra Institución Universitaria, los delineados en la Declaración de Singapur sobre la Integridad en la Investigación (2010) y las normas relativas formalizadas por la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica – CONICYT y adoptadas por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo – ANID del Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación del Gobierno de Chile, este Comité resuelve aprobarlo, confiriendo el presente Certificado.


DRA. M. ANDREA RODRÍGUEZ TASTETS
PRESIDENTA
COMITÉ DE ÉTICA, BIOÉTICA Y BIOSEGURIDAD
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN



Barrio Universitario s/n,
Edificio Empreudec
Fono (56-41) 2204302
Casilla 160 C – Correo 3, secreverid@udec.cl
Concepción, Chile



Este documento ha sido firmado electrónicamente por:
María Andrea Rodríguez Tastets <andrea@udec.cl>
Certificado por E-Sign S.A. en conformidad a la Ley 19.799



100 AÑOS
DE
DESARROLLO
LIBRE DEL
ESPIRITU

A2. Consetimiento informado



Universidad de Concepción
Departamento de Ingeniería Eléctrica
Programa Doctorado en Ciencias de la Ingeniería con mención en Ingeniería Eléctrica



DOCUMENTO DE INFORMACIÓN PARA EL PARTICIPANTE Y FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Este Formulario de Consentimiento Informado se dirige a hombres y mujeres adultos que practican halterofilia y les invita a participar, de manera libre y voluntaria, en un proyecto sobre el mejoramiento de un programa computacional para ayudar a deportistas en la ejecución correcta de movimientos. Este trabajo corresponde a una tesis Doctoral de Laura Viafora Reyes, estudiante del programa Doctorado en Ciencias de la Ingeniería con mención en Ingeniería Eléctrica, de la Universidad de Concepción.

Título de la investigación. “Uso de termografía infrarroja para asistir la ejecución de acciones en el deporte”.

Investigadora Responsable. Laura Antonieta Viafora Reyes, estudiante de Doctorado en Ciencias de la Ingeniería con mención en Ingeniería Eléctrica, Universidad de Concepción.

Sitio de obtención de muestra. Cendyr Náutico San Pedro De La Paz, Costanera 80, San Pedro de la Paz, Región del Bío Bío.

Este Documento de Consentimiento Informado tiene dos partes:

- Información
- Formulario de Consentimiento

Se le entregará una copia completa del Documento de Consentimiento Informado.

PARTE I: Información

INTRODUCCIÓN

Soy Laura Viafora Reyes, estudiante del programa Doctorado en Ciencias de la Ingeniería con mención en Ingeniería Eléctrica, de la Universidad de Concepción. Me encuentro haciendo mi tesis, la cual trata de mejorar un programa computacional para ayudar a deportistas en la ejecución correcta de movimientos.

Le entregaré información y lo invito a participar de esta investigación. No tiene que decidir hoy su participación, antes de decidirse, puede informarse hablando con alguien que se sienta cómodo sobre la investigación.

Es posible que haya algunos términos que no entienda, por favor, me detiene para darme tiempo a explicarle. Si tiene preguntas más tarde, me las puede hacer saber y así aclarar sus dudas.

El propósito de este proyecto es mejorar un programa que asiste a deportistas en la correcta ejecución de movimientos, empleando cámaras térmicas. Para diseñar y probar el programa, se requiere videos térmicos de atletas haciendo deporte.

Procedimiento en el estudio. Los videos serán filmados en una sesión, en fecha y hora a acordar. Se solicitará que haga sus levantamientos de pesas como lo hace habitualmente.

Será grabado por delante, de lado y desde atrás, con una cámara convencional y una cámara térmica. Las filmaciones serán cortas (se estiman de entre 10 a 16 segundos por levantamiento). Éstas se iniciarán por levantar la pesa, y finalizará al soltar el elemento. La Fig.1 esquematiza la secuencia a filmar.





Universidad de Concepción
Departamento de Ingeniería Eléctrica
Programa Doctorado en Ciencias de la Ingeniería con mención en Ingeniería Eléctrica



Fig. 1 Secuencia de levantamiento de pesas a filmar

Respecto al manejo de datos, la información entregada por Ud. será confidencial y sólo será manejada por la Investigadora Responsable, Laura Viafora Reyes, quien tendrá acceso a ella. Cualquier información acerca de usted tendrá un número en lugar de su nombre. Solo la Investigadora Responsable sabrá cuál es su número.

La participación a esta investigación no presenta efectos colaterales, ni riesgos, ni molestias para la integridad física o psicológica.

Usted no tiene por qué tomar parte en esta investigación si no desea hacerlo. Puede dejar de participar en la investigación en cualquier momento que lo desee. Es su elección y todos sus derechos serán respetados.

No hay costos ni incentivos económicos para su participación en este estudio. Si desea hacer preguntas más tarde, puede contactar a la Investigadora Responsable mediante correo electrónico a laviafora@udec.cl y teléfono +56 002803772.

Las consideraciones éticas del proyecto fueron sometidas al Comité de Ética de la Universidad de Concepción, presidido por la Dra. Andrea Rodríguez Tastets, cuyo número de contacto es (41) 2204302 o al correo electrónico secrevid@udec.cl.

PARTE II: FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO

He leído y entendido toda la información que me fue entregada. Estoy de acuerdo con los términos presentados para mi participación en el estudio "Uso de termografía infrarroja para asistir la ejecución de acciones en el deporte".

Entiendo que, puedo en cualquier momento de mi participación, realizar preguntas adicionales a la Investigadora Responsable. Así también, retirarme del mismo sin que haya consecuencias para mí.

Fecha: ____ / ____ / 20__

Nombre y Firma Participante



Firma de la Investigadora Responsable

Firma Representante
Cendyr Náutico San Pedro de la Paz/ Ministro de Fe

2 / 2



Este documento ha sido firmado electrónicamente por:
María Andrea Rodríguez Tastets <andrea@udec.cl>
Certificado por E-Sign S.A. en conformidad a la Ley 19.799