



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA

## Relación entre la mordida cruzada unilateral posterior y la postura corporal

Jorge Manuel Zurita Hernández



Aquesta tesi doctoral està subjecta a la llicència **Reconeixement- Compartigual 4.0. Espanya de Creative Commons.**

Esta tesis doctoral está sujeta a la licencia **Reconocimiento - Compartigual 4.0. España de Creative Commons.**

This doctoral thesis is licensed under the **Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0. Spain License.**



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA

Facultat de Medicina  
i Ciències de la Salut

*“RELACIÓN ENTRE LA MORDIDA CRUZADA UNILATERAL  
POSTERIOR Y LA POSTURA CORPORAL”*

Memoria de tesis doctoral presentada por Jorge Manuel  
Zurita Hernández para optar al grado de Doctor por la  
Universidad de Barcelona

Dirigida por  
Dr. Raúl Ayuso

Programa de Doctorado De Medicina e Investigación  
Traslacional. Facultat de Medicina i Ciències de la Salut.  
Universitat de Barcelona

Setembre 2022



## **AUTORIZACIÓN DE LOS DIRECTORES/TUTORES DE LA TESIS**

Doctorando: Don Jorge Zurita Hernández

D. Raúl Ayuso Montero, como director de la tesis doctoral titulada: RELACIÓN ENTRE LA MORDIDA CRUZADA UNILATERAL POSTERIOR Y LA POSTURA CORPORAL

INFORMA: Que la presente tesis, se corresponde con el trabajo realizado por Don Jorge Zurita Hernández, bajo mi dirección, y autorizo su presentación, considerando que reúne los requisitos exigidos por la Escuela de Doctorado de la Universitat de Barcelona.

De acuerdo con lo establecido en dicha normativa, la presente tesis es adecuada para su defensa en el modelo clásico de presentación de manuscrito y defensa del mismo.

Barcelona, 29 de Julio de 2022

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera agradecer el esfuerzo y el empuje que me ha ofrecido mi director el Dr. Raúl Ayuso Montero.

Agradecer a mi marido por su paciencia, apoyo y compañía todos estos años.

Agradecer a mi familia el empeño, la dedicación, el cariño y las muchas horas de conversaciones que moldearon a la persona en la que me he convertido y sobre todo porque me enseñaron que no existe obstáculo que no supere la determinación del ser humano.

## **FINANCIACIÓN**

Para desarrollar el proyecto de investigación nos acogimos a la XVIII convocatoria de ayudas para estudiantes de doctorado y postgrado de la Facultad de Odontología de la Universidad de Barcelona, mediante la redacción de una memoria, para la compra de materiales fungibles, cámara fotográfica y gratificación económica a todos los participantes del estudio, que ascendió a un total de 4.514€. (Partida presupuestaria 2614OD00277001 D/226000900/C2015G/G00 UP00OVPG).

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1. POSTURA CORPORAL .....</b>	<b>12</b>
1.1.1 Sistema Nervioso central: Centros posturales.....	13
1.1.2 Sistema músculo-esquelético .....	15
1.1.3 Sistema Vestibular .....	33
1.1.4 Sistema visual .....	34
1.1.5 Actores secundarios en el sistema tónico postural .....	34
<b>1.2. OCLUSIÓN DENTAL.....</b>	<b>36</b>
1.2.1 Oclusión dental clásica.....	37
1.2.2 Biomecánica de la oclusión .....	37
1.2.3 Oclusión: un sistema de adaptación y precisión .....	38
1.2.4 Fuerza de oclusión y mordida .....	40
1.2.5 Oclusión y movimiento de la mandíbula.....	41
1.2.6 Rendimiento de oclusión y masticación .....	42
1.2.7 Oclusión y ATM .....	43
1.2.8 Mordida cruzada unilateral posterior. ....	43
1.2.9 Circuito del tronco encefálico que controla la masticación .....	44
1.2.10 Lado de preferencia masticatoria en sujetos con UPCB .....	45
1.2.11 Mordida cruzada y fuerza de mordida.....	46
1.2.12 Mordida cruzada y músculos masticatorios.....	47
1.2.13 Asimetría esquelética y UPBC.....	47
1.2.14 UPBC y Actividad muscular .....	47
<b>1.3. DIFERENTES POSICIONES MANDIBULARES.....</b>	<b>48</b>
1.3.1 Posición de Máxima intercuspidadación. ....	49
1.3.2 Posición de contacto retrusivo o contacto muscular.....	50
1.3.3 Relación céntrica y oclusión de relación céntrica .....	50
1.3.4 Posición postural y dimensión vertical facial .....	51
<b>1.4. POSTURA CORPORAL Y OCLUSIÓN DENTAL .....</b>	<b>52</b>
1.4.1 Fisiología de la relación entre oclusión dental y postura corporal .....	54
1.4.2 La importancia del ambiente externo en la relación entre la oclusión dental y el equilibrio corporal.....	56
1.4.3 Maloclusión y postura de la cabeza .....	59
1.4.4 Maloclusión y curvaturas de la columna.....	60
1.4.5 Maloclusión y balanceo corporal .....	64
<b>1.5. POSTURA CORPORAL Y POSICIÓN MANDIBULAR.....</b>	<b>66</b>
<b>1.6. METODOS DE EVALUACIÓN DE POSTURAL CORPORAL .....</b>	<b>68</b>

<b>2.</b>	<b>HIPÓTESIS DE TRABAJO</b> .....	<b>71</b>
2.1.	Hipótesis principal:.....	71
2.2.	Hipótesis secundarias:.....	71
<b>3.</b>	<b>OBJETIVOS DEL ESTUDIO</b> .....	<b>71</b>
3.1.	Objetivo principal:.....	71
3.2.	Objetivos secundarios: .....	71
<b>4.</b>	<b>MATERIAL Y MÉTODO</b> .....	<b>73</b>
4.1.	MUESTRA.....	73
4.2.	ESTUDIO Y RECOGIDA DE DATOS.....	74
4.3.	ANÁLISIS DE DATOS.....	78
4.3.1	Análisis de la postura corporal en vista frontal.....	78
4.3.2	Análisis de la postura corporal en vista lateral. ....	78
4.3.3	Análisis de la distribución del peso corporal.....	78
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>80</b>
5.1.	ANÁLISIS DE LA POSTURA CORPORAL EN VISIÓN FRONTAL .....	81
5.1.1	Alineación de los acromions. Ángulo AA.....	81
5.1.2	Alineación horizontal de las caderas. Ángulo EIAS .....	82
5.2.	ANÁLISIS DE LA POSTURA CORPORAL EN VISIÓN LATERAL .....	83
5.2.1	Rotación de la cadera. Ángulo EP .....	83
5.2.2	Alineación vertical del cuerpo. Ángulo M. ....	86
5.2.3	Alineación horizontal del cráneo. Ángulo CT .....	89
5.3.	ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL PESO CORPORAL .....	90
<b>6.</b>	<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>91</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>96</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>97</b>
<b>9.</b>	<b>ANEXO</b> .....	<b>112</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Estructuras principales en el control de la postura y la marcha.....	15
<b>Figura 2:</b> Esquema gráfico de la articulación occipito-atlato-axial.....	17
<b>Figura 3:</b> Parámetros pélvicos radiográficos.....	30
<b>Figura 4:</b> Parámetros cervicales.....	31
<b>Figura 5:</b> Diferentes tipos de columnas en vista sagital.....	32
<b>Figura 6:</b> Biscupoide de Posselt.....	42
<b>Figura 7:</b> Equitest System. Plataforma podológica que genera movimiento en rango variable y registra la respuesta de los sujetos.....	59
<b>Figura 8:</b> Imagen de rastereografía.....	62
<b>Figura 9:</b> Puntos anatómicos marcados con pelotas de poliestireno.....	75
<b>Figura 10:</b> Alineación horizontal de los acromios. Angulo AA.....	82
<b>Figura 11:</b> Alineación horizontal de las espinas iliacas antero-superiores. Ángulo EIAS.....	83
<b>Figura 12:</b> Ángulo de rotación de las caderas. Angulo EP.....	84
<b>Figura 13:</b> Ángulo de rotación de las caderas. Angulo EP.....	85
<b>Figura 14:</b> Alineación vertical del cuerpo. Ángulo M.....	87
<b>Figura 15:</b> Alineación vertical del cuerpo. Ángulo M.....	88
<b>Figura 16:</b> Alineación vertical del cuerpo. Ángulo M.....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Descripción de las características de los sujetos estudiados.....	80
<b>Tabla 2:</b> Reproducibilidad estimado para el coeficiente de correlación intraclase para las principales variables con referencia a las posiciones mandibulares.....	81
<b>Tabla 3:</b> Valores del ángulo M.....	86

## **GLOSARIO**

**UPBC:** Unilateral posterior crossbite. Mordida cruzada unilateral posterior.

**AA:** Acromions.

**EIAS/EIPS:** Espinas iliacas anterior superior/ Espinas iliacas posterior superior

**ASIS:** Anterior superior iliacs spine.

**Ángulo AA:** Aquel formado por una línea que conecta los marcadores sobre las apófisis acromion y una línea horizontal. Visión frontal.

## **FORMATO DE TESIS**

Tesis en formato clásico con 1 artículo anexado.

La tesis consta de 1 objetivo principal, 5 objetivos secundarios. El artículo publicado se relaciona con el objetivo principal de esta tesis y tres de los objetivos secundarios.

En esta tesis se amplía el número de los ángulos estudiados, se desarrolla y explica detalladamente la forma de obtención de estas mediciones en el apartado de material y método, se exponen los resultados en su forma extendida y se redactan 6 conclusiones.

### **ANEXO 1**

**Jorge Zurita-Hernandez**, Raul Ayuso-Montero, Meritxell Cuartero-Balana, Eva Willaert, Jordi Martinez-Gomis. *“Relationship between unilateral posterior cross bite and human static body posture”*. Int. J. Environ. Res. Public Health 2020, 17, 5303; doi:10.3390/ijerph17155303  
JCR: Q1. PUBLIC, ENVIRONMENTAL & OCCUPATIONAL HEALTH (42/176)

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. POSTURA CORPORAL

La postura corporal se puede definir como la posición tridimensional del cuerpo humano en el espacio. El sistema nervioso central recibe la información a través de diversos receptores neuronales, los cuales dan la señal y envían ordenes al sistema músculo-esquelético que permiten el mantenimiento de una posición específica de todo el cuerpo en relación al entorno que le rodea de manera constante.

Para el mantenimiento de la postura corporal es necesaria la interacción entre las informaciones recibidas del entorno por parte del sistema nervioso central y la respuesta del sistema músculo-esquelético.

Desde un punto de vista biomecánico, la posición de bipedestación humana se considera clásicamente como un péndulo invertido a causa de la gravedad. Dicha gravedad provoca un movimiento hacia adelante en la articulación del tobillo que se contrarresta con la actividad de los músculos de la pantorrilla (Loram, Maganaris y Lakie, 2005).

Fisiológicamente, el mantenimiento de la postura corporal es un tema muy controvertido. Según la teoría dominante, el sistema nervioso preprograma las características cinemáticas y cinéticas deseadas de la acción motora y luego ejecuta el programa especificando la eferencia moto-neuronal requerida (Zhang , 2018).

Otras teorías abogan por que las acciones motoras son una propiedad intrínseca del sistema neuromuscular, es decir, se generan sin preprogramación (Zhang , 2018).

En este trabajo se abordarán las diferentes estructuras del organismo que juegan un papel relevante en el control y mantenimiento de la postura corporal. Se tratará la implicación del Sistema Nervioso Central y el sistema músculo-esquelético, protagonistas principales del mantenimiento de la postura general del organismo, así como también de los órganos o sistemas directamente relacionados con la postura corporal. Posteriormente se abordará la materia objeto de esta tesis, la relación entre la mordida cruzada unilateral posterior y la postura corporal habitual.

En la literatura existe un consenso mayoritario sobre la relación directa entre los sistemas aferentes principales y la postura corporal. Sin embargo, otros sistemas aferentes se conocen como secundarios, ya que no está clara su relación con la postura corporal o no existe consenso en la literatura.

Se acepta de manera general que para mantener la postura corporal participan al menos 3 sistemas principales, que son el sistema propioceptivo o somatosensorial, la información vestibular (percibida por el oído), y la visual (Lord, 2000).

El sistema propioceptivo o somatosensorial comprende las unidades de recepción y procesamiento, como el estímulo del tacto, la posición corporal, la temperatura y la información interna corporal. El área o sistema vestibular se relaciona con la posición en el espacio, en concreto con el equilibrio, y está ubicado en el oído interno. Y finalmente la información visual, que se relaciona principalmente con la orientación en el espacio (Lord, 2000).

Otras informaciones sensoriales, como las recibidas desde la superficie plantar de los pies, la oclusión dental y el estado anímico son más cuestionadas o controvertidas y por eso se conocen como secundarias (Korbamacher et al., 2004).

### **1.1.1 Sistema Nervioso central: Centros posturales**

Haciendo un esquema general sobre el control de la postura corporal y la marcha, los movimientos voluntarios son órdenes motoras que surgen desde el córtex cerebral al tronco encefálico y la médula espinal.

Por otro lado, referencias emocionales pueden contribuir al comportamiento motor emocional, el cual es generado por las proyecciones desde el sistema límbico hipotalámico hasta el tronco encefálico, tales como el estado de alerta o de lucha (Takakusaki, 2017).

Independientemente de si la iniciación del movimiento es voluntaria o un comportamiento dirigido emocionalmente, siempre van acompañados de un proceso automático de control postural, incluyendo el ajuste del equilibrio y del tono muscular (De Long, 2007) y estos procesos aún son desconocidos en gran medida. El proceso es evocado por unas activaciones secuenciales de neuronas del tronco encefálico y de la médula espinal (Takakusaki, 2017).

Los patrones locomotores básicos son generados por un sistema espinal denominado generadores de patrones centrales (CPG). Sin embargo, para aprender nuevas habilidades motoras o comportarse en circunstancias desconocidas, el sujeto requiere un control cognitivo de la postura y la marcha que dependen de la cognición de la información propia del cuerpo junto con la localización espacial de objetos en el espacio extrapersonal (Takakusaki, 2017):

1. El cerebelo regula los procesos cognitivos y automáticos del control de la postura y de la marcha actuando sobre la corteza cerebral a través de la proyección talamocortical y sobre el tronco encefálico respectivamente (Takakusaki, 2017).
2. Los ganglios basales también pueden contribuir a la modulación de cada proceso a través de sus proyecciones GABA-energías al córtex cerebral y el tronco encefálico (De Long, 2007). Y el grado de influencia GABA-energíca de los ganglios basales está regulado por neuronas dopaminérgicas del mesencéfalo (De Long, 2007).

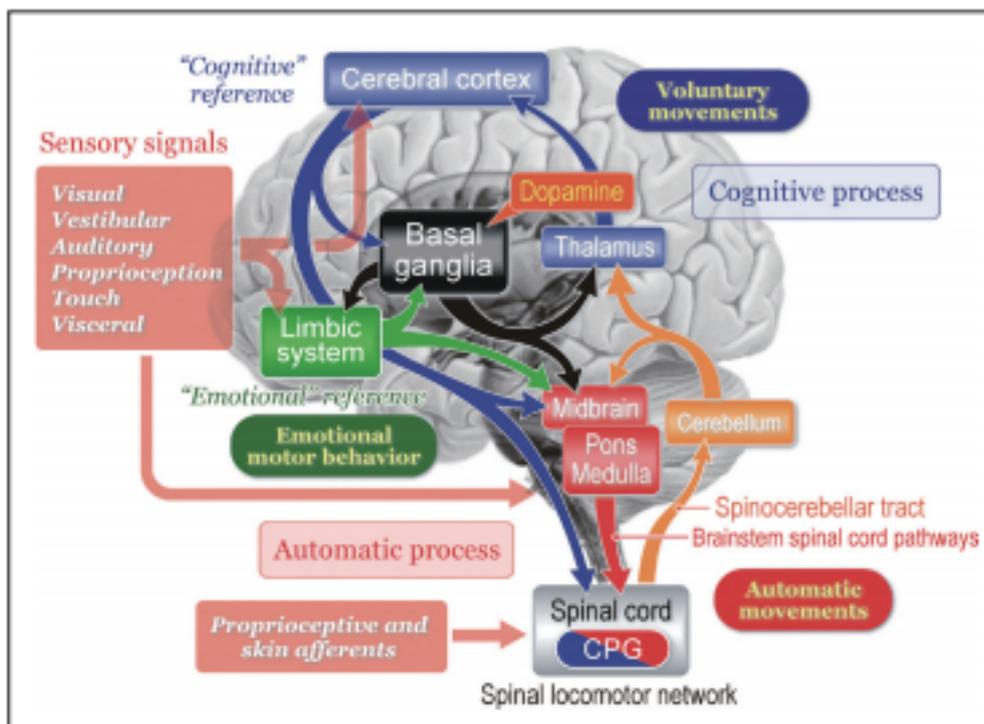


Figura 1. Estructuras principales en el control de la postura y la marcha (Takakusaki, 2017)

## **1.1.2 Sistema músculo-esquelético**

### **1.1.2.1 Columna vertebral**

La columna vertebral, permite la bipedestación gracias a su característica forma en “S”, que es el resultado de las alteraciones únicas que se han producido sobre ella (Bassel, 2015). Por ejemplo, la curvatura lumbar mantiene el centro de gravedad en una estrecha zona entre los pies, maximizando la eficacia energética mientras minimiza el efecto de la gravedad sobre las articulaciones, músculos y ligamentos (Bogduk, 2016). Por este motivo se puede considerar la curva más importante, que forma una concavidad posterior, y que la forman 5 vértebras empezando desde el sacro. La curva torácica está formada por 12 vértebras y es cóncava anteriormente. Por último, las 7 vértebras de la espina cervical forman una lordosis cervical o concavidad posterior (Carini et al., 2017).

#### **1.1.2.1.1 Columna Cervical**

*En las primeras etapas embrionarias el área posterior del cuello es el origen, y por tanto la base del desarrollo posterior del tronco en su crecimiento. La columna cervical sirve como soporte móvil para la plataforma sensorial de la cabeza. Permite que el aparato sensorial para la visión, el oído y el olfato se eleve o deprime en el plano sagital y escanee el entorno en el plano horizontal. Para cumplir estas funciones, la columna cervical debe ser móvil, pero lo suficientemente fuerte para soportar el peso de la cabeza. Su vulnerabilidad, ya sea a lesiones menores o mayores, radica en su longitud, delgadez y en llevar la gran masa de la cabeza sobre ella (Bogduk, 2016). Tanto a efectos descriptivos como funcionales, la columna cervical se puede dividir en tres zonas: zona suboccipital, centrada sobre la vértebra C1; zona de transición, formada por la vértebra C2; y la zona que abarca hasta la C7. Estas tres zonas difieren tanto en estructura como en función (Bogduk, 2016).*

#### **1.1.2.1.2 Zona Suboccipital**

*La vértebra C1, llamada Atlas, no comparte ninguna característica con el resto de vértebras cervicales. Tanto en función como en estructura opera más como una vértebra occipital. En estructura se parece más al hueso*

occipital y en función trabaja más estrechamente con la cabeza que con el resto de la columna cervical. (Bogduk, 2016; Basel, 2015). La descripción clásica del Atlas como una vértebra anular desvirtúa su diseño y función. Los componentes críticos del Atlas son sus dos apófisis laterales. Coronalmente estos presentan unos procesos articulares superiores que reciben los cóndilos occipitales acogiendo y acunando al cráneo. Basalmente, presenta unos procesos articulares inferiores que descansan sobre la vértebra C2 y por tanto transmitiendo la carga de la cabeza al resto de la columna cervical (Bogduk, 2016). Al recibir los cóndilos occipitales en sus profundos alvéolos, los procesos articulares superiores de cada apófisis lateral, forman las articulaciones atlantooccipitales. Estas articulaciones sinoviales constituyen la única conexión directa entre el cráneo y la C1. Permiten un pequeño rango de flexión-extensión, pero la profundidad de las cuencas impide la rotación axial, por lo tanto, a medida que gira la cabeza (en el plano transversal) el Atlas está obligado a moverse con ella. Por ese motivo, el Atlas actúa como un modulador pasivo entre el cráneo y la C2 (Bogduk, 2016).

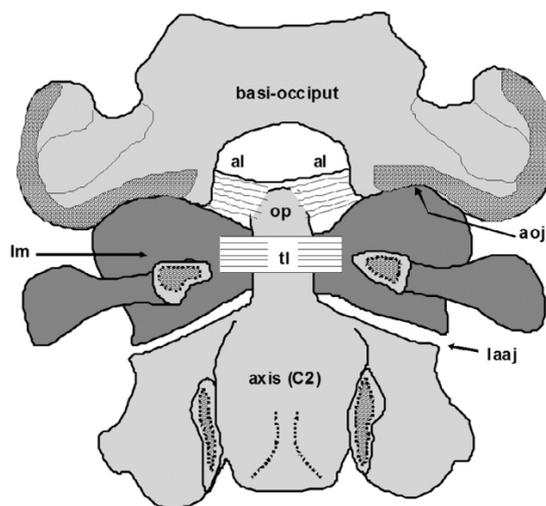


Figura 2. Esquema gráfico de la articulación occipito-atlanto-axial (Bogduk, 2016)

### 1.1.2.1.3 Zona de transición media

La mitad superior de la vértebra C2, llamada Axis, está diseñada para soportar al Atlas. Superior y lateralmente, ésta presenta procesos

*articulares que se inclinan caudal y lateralmente y actúan como hombros inclinados sobre los cuales las apófisis laterales del atlas descansan. Los procesos articulares de ambos lados forman la articulación atlantoaxial. En la zona central, el axis presenta una larga apófisis odontoide que se proyecta detrás del arco anterior del atlas, con el que forma la articulación atlantoaxial mediana. El arco anterior se mantiene unido a la apófisis odontoide mediante el ligamento trasverso, que se extiende como un cinturón entre las dos masas laterales del Atlas, detrás de la apófisis odontoide. El desplazamiento posterior del Atlas se evita mediante la impactación del arco anterior contra la apófisis odontoide en la articulación atlantoaxial. El desplazamiento anterior se evita mediante la tensión del ligamento trasverso. El ligamento permite, en adultos, un movimiento de hasta 3 mm y de hasta 5 mm en niños. Fuerzas excesivas aplicadas anteriormente sobre la cabeza pueden fracturar la apófisis odontoide. Estas fracturas comprometen la estabilidad sagital del atlas. En cambio, el desplazamiento anterior y posterior del atlas ponen en peligro la médula espinal. La artritis reumatoide de la articulación atlantoaxial puede debilitar el ligamento trasverso del Atlas, resultando en una subluxación anterior de éste (Wasserman et al., 2011). Aunque los procesos articulares óseos de la articulación atlantoaxial lateral son planos, sus cartílagos articulares son convexos (a lo largo del plano sagital). Como resultado el Atlas se posa algo precariamente sobre el Axis, con sus cartílagos articulares inferiores convexos en equilibrio sobre convexidades de los cartílagos articulares superiores del Axis. Los espacios anterior y posterior entre los cartílagos convexos están ocupados por meniscoides fibrocartilaginosos en forma de cuña (Mercer y Bogduk, 1993). Aunque un pequeño grado de flexión y extensión es posible entre el Atlas y el Axis (Bogduk y Mercer, 2000), el movimiento cardinal entre estas dos vertebra es la rotación axial. Durante este movimiento el Atlas gira en la articulación atlantoaxial mediana mientras sus cuerpos laterales se deslizan hacia atrás o hacia adelante, circunferencialmente en las articulaciones atlantoaxiales laterales. Sin*

*embargo, debido a la convexidad de los cartílagos articulares en estas articulaciones de los cuerpos laterales también descienden por la inclinación posterior o anterior de los cartílagos, a medida que se mueven hacia atrás o hacia adelante respectivamente. Como resultado, el Atlas se asienta (baja) durante la rotación axial y se eleva cuando cuando el movimiento se invierte (Bogduk y Mercer, 2000). El rango total de rotación axial del atlas es considerablemente grande, unos  $43^{\circ} \pm 5,5^{\circ}$  que equivale, efectivamente al 50% de rango de rotación axial de la cabeza y el cuello (Bogduk y Mercer, 2000). Para adaptarse a este amplio rango de movimiento, las cápsulas de la articulación atlantoaxial lateral se aflojan y sirven de poco para sostener el atlas sobre el axis. Esa función la proporciona los ligamentos alares. En cada lado, estos ligamentos pasan prácticamente de forma transversal desde el extremo superior de la apófisis odontoide hasta el margen del foramen magnum. Al hacer el movimiento, pasan por encima del Atlas y bloquean la cabeza en su lugar sobre el Axis, sujetando efectivamente el Atlas entre el cráneo y la C2. Los ligamentos alares son el freno cardinal para la rotación axial de la cabeza. Son lo suficientemente fuertes para evitar la dislocación anterior de la cabeza. La rotura de un ligamento alar puede provocar inestabilidad en la rotación de la cabeza y el Atlas. Una forma leve de torticollis puede surgir si, después de la rotación de la cabeza y el Atlas, un meniscoide de la articulación atlantoaxial lateral no vuelve a entrar en el espacio de la articulación y se queda atrapado bajo la cápsula de la articulación actuando como un cuerpo suelto que impide la desrotación de la articulación. El interés creciente ha centrado su atención en la articulación atlantoaxial como una posible fuente de dolor de cabeza cervicogénico. Esa afirmación puede probarse al realizar bloqueos diagnósticos controlados intra-articulares de la articulación supuestamente dolorosa (Bogduk y Burtch, 2008; Bogduk y Govind, 2009; Bogduk, 2014)).*

#### **1.1.2.1.4 Zona de transición inferior**

*La mitad inferior de la vertebra C2 tiene la estructura de una vértebra cervical típica. Centralmente presenta un cuerpo vertebral, y lateralmente presenta procesos articular inferiores en ambos lados. El Axis transmite la carga de la cabeza a través de un canal anterior en la zona donde recibe las apófisis laterales del Atlas, y por un par de canales posterior, transmitiéndolo mediante el cuerpo vertebral a través de las articulaciones cigoapofisiarias. Aproximadamente la mitad de la carga axial se transmite a través del canal anterior y la otra mitad a través de los dos canales posteriores (Bogduk, 2016).*

#### **1.1.2.1.5 Vértebra cervical típica**

*Las partes claves de la vértebra cervical típica son su cuerpo vertebral y sus dos pilares articulares. En segundo lugar, los procesos trasversales que se proyectan lateralmente desde los pilares articulares y posteriormente los dos pilares que están unidos por un par de láminas que sostienen un proceso espinoso en la línea media. Tanto el proceso transversal como el espinoso sirven como palancas sobre las que actúan los músculos que controlan la posición de las vértebras cervicales. A lo largo del margen posterolateral superior de cada lado, cada cuerpo vertebral tiene los procesos uncinados. Sobre estos procesos uncinados subyace la naturaleza de las articulaciones de los cuerpos vertebrales cervicales y su funcionamiento. Los pilares articulares adyacentes, están unidos por las articulaciones cigapofisiarias, que son articulaciones sinoviales formadas por el proceso articular inferior de la vértebra superior y el proceso articular superior de la vértebra siguiente. Intervienen los meniscoides fibroadiposos entre los cartílagos articulares de estas articulaciones (Mercer y Bogduk, 1993). Las articulaciones cigapofisiarias son planas, su orientación típica es de unos 40° sobre el plano coronal y sagital, de modo que miran hacia atrás y arriba. Pero a nivel de la C2-C3, sin*

*embargo, las articulaciones también miran medialmente, de modo que el par de articulaciones forman un encaje elipsoide en el que anida el peso del Axis y la carga que llega desde la cabeza (Nowitzke et al., 1994) Los cuerpos vertebrales consecutivos están unidos por discos intervertebrales y por los ligamentos longitudinales anterior y posterior. El ligamento anterior conecta solamente las vértebras cervicales desde la C2. El ligamento longitudinal posterior forma una alfombra a lo largo del suelo del canal vertebral cervical, pero se expande en la membrana tectoria para cubrir la parte posterior de la región atlantoaxial. Al hacerlo, el ligamento separa el saco dural y la médula espinal de la mecánica de la articulación atlantoaxial mediana. En la columna cervical no existen los ligamentos posteriores y los ligamentos interespinosos están representados solo por una capa de fascia sagitalmente dispuesta (Mercer y Bogduk, 2003). El ligamento nuchal carece de una estructura de ligamento. Consiste en gran parte de un estrecho rafe anclado en el proceso espinoso de la C7 formado por tendones entrelazados de los músculos esplenio y trapecio (Mercer y Bogduk, 2003). La estructura intrínseca de los discos intervertebrales es diferente a los discos lumbares y difiere con la edad. El núcleo pulposo de los discos cervicales es gelatinoso solo en niños y adultos jóvenes. A los 30 años se seca para formar una placa fibrocartilaginosa. Además, el núcleo no está rodeado por laminillas concéntricas del anillo fibroso. Este anillo es bastante deficiente en su parte posterior y consta de una banda delgada paramediana de fibras de colágeno que corren longitudinalmente entre los cuerpos vertebrales. Posterolateralmente, el núcleo está cubierto por el ligamento longitudinal posterior, antes que por el anillo fibroso. Anteriormente, el anillo fibroso tiene forma de medialuna, delgada por su parte posterior cercana al proceso uncinado y más gruesa en su zona anterior hacia la línea media. Todas sus fibras de colágeno discurren en una dirección apuntando a un punto medio de la superficie anteroinferior de la vértebra superior. Esta configuración*

*dota al anillo fibroso de una estructura gruesa con un ligamento interóseo que une los bordes anteriores de los cuerpos vertebrales adyacentes. La superficie superior de cada cuerpo vertebral cervical presenta dos curvaturas: una ligera curvatura convexa a lo largo del plano sagital y una curvatura cóncava más marcada transversalmente entre las apófisis uncinadas. Estas curvaturas dotan al cuerpo vertebral de la configuración de una articulación en silla de montar (Mercer y Bogduk, 2000). En consecuencia, las articulaciones intersomáticas cervicales funcionan como una articulación de sillín, con movimientos restringidos en dos planos; sagital y coronal oblicuo. En el plano sagital, los cuerpos pueden oscilar y deslizar (rotar y trasladar), para proporcionar flexión y extensión del cuello. De arriba hacia abajo las vértebras cervicales presentan progresivamente menos traslación para cada grado de rotación, durante la flexión o extensión. Esto se refleja en las diferentes ubicaciones de sus ejes de movimiento (Nowitzke et al., 1994). En los niveles superiores, los ejes de rotación extensión se encuentran en los cuerpos de las vértebras y se va acercando progresivamente al disco intervertebral en los niveles inferiores. Estas diferencias se relacionan inversamente con la altura del pilar articular en cada segmento. Cuanto más alto el pilar, menos espacio en el que la vértebra puede trasladarse cuando ha comenzado la rotación sagital. Por el contrario, en segmentos con pilares cortos, la rotación sagital levanta el proceso articular inferior de la vértebra en movimiento del pilar articular que lo soporta y genera un espacio mayor por el cual la vértebra se puede trasladar (Nowitzke et al., 1994). El segundo plano de movimiento de las vértebras cervicales típicas se establece a 40° sobre el plano coronal y permanece paralelo al plano de las articulaciones interapofisiarias (Bogduk y Mercer, 2000). A través de este plano, cada vértebra gira como un cono invertido cuyo vértice está fijo pero cuya base puede girar. El ápice del cono corresponde al punto antero medial del cuerpo vertebral correspondiente a la zona donde se dirigen las fibras del anillo fibroso,*

*y éste sirve para sostener el ápice en su lugar. Mientras tanto, el borde posteroinferior del cuerpo vertebral presenta una superficie convexa que es está socavada por una superficie cóncava entre los procesos uncinados de las vértebras inferiores. Esta geometría es de una articulación elipsoide donde el margen posteroinferior del cuerpo vertebral puede girar o balancearse libremente. Así, mientras el extremo anterior del cuerpo vertebral está fijo, su extremo posterior puede girar libremente en sentido horario o antihorario a través del plano coronal oblicuo. Durante este movimiento, los procesos articulares inferiores las articulaciones interapofisarias simplemente se deslizan lateralmente a través de las superficies de sus procesos articulares superiores. Una consecuencia de este método de funcionamiento es que las articulaciones intersomáticas de las vértebras cervicales comunes no pueden albergar un anillo fibroso posterolateral porque impediría el giro del cuerpo vertebral posterior a través del plano coronal oblicuo. En consecuencia, aunque hay un anillo posterior al nacer y en los niños pequeños, este desaparece gradualmente a medida que aumentan los movimientos del cuello. Aproximadamente a los 9 años el anillo posterolateral se desgarran y aparecen hendiduras en la región de los procesos uncinados. Progresivamente estas hendiduras se agrandan hasta fusionarse en la línea media a la edad de los 30 años para formar una hendidura transversal que va de un proceso uncinado a otro. Esta hendidura no es un cambio degenerativo sino un cambio fisiológico de la edad. Esta hendidura forma “el espacio articular” a través del disco intervertebral posterior que permite la rotación axial de la cabeza.*

#### **1.1.2.1.6 Columna torácica**

*Al igual que las vértebras cervicales y lumbares, las vértebras torácicas tienen cuerpos vertebrales que están conectados por discos intervertebrales y ligamentos longitudinales que están conectados por*

*articulaciones cigapofisiarias. Lo que diferencia a la columna torácica es que mantiene en suspensión a las costillas. La cabeza de las costillas se articula con el disco intervertebral y semifacetas en los bordes de las vértebras que unen ese disco y el tubérculo articular de la costilla se articula con el proceso transversal de la parte superior de las dos vértebras. Las excepciones a esta disposición ocurren en T1 y en T11 y T12, donde la cabeza de la costilla se articula completamente con las vértebras del mismo número. Pocos estudios han explorado la inervación de la columna cervical (Bogduk, 2002). Se asume que los nervios sinuvertebrales sean homólogos a aquellos que se encuentran en las vértebras cervicales y lumbares. El curso de la ramificación dorsal torácica parece diferir de aquellos en la zona cervical y lumbar, pero son homólogos.*

#### **1.1.2.1.7 Columna Lumbar**

*El papel principal de la columna lumbar es soportar al tórax y los miembros superiores en cualquier carga que soporten, y a transmitir estas cargas a la pelvis y los miembros inferiores. (Bogduk, 2012a) Secundariamente la columna lumbar permite un modesto rango de movimiento entre el tórax y la pelvis. Para servir a estas funciones, los elementos esenciales de la columna lumbar son los cuerpos vertebrales de las 5 vértebras lumbares. Estas se superponen formando una fuerte columna y están unidas mediante discos intervertebrales y por los ligamentos anteriores y posteriores (Bogduk, 2012a). Generando una lordosis que confiere a la columna lumbar la capacidad de absorber las cargas axiales dinámicas. Los impulsos axiales deforman la curvatura lordótica. La energía es absorbida gracias a la elasticidad de los discos y ligamentos longitudinales. Los discos intraarticulares están bien diseñados para absorber las cargas de compresión. Cada uno consta de un núcleo pulposo hidratado, rodeado de un anillo fibroso y cubierto superior e inferiormente por una placa terminal vertebral que une el*

disco al cuerpo de la vertebra adyacente. El anillo fibroso está formado por capas concéntricas de fibras de colágeno, y en cada capa, estas discurren en paralelo, a unos 60° del eje mayor de la columna, pero esta orientación va alternando en cada capa sucesiva. La compresión axial es resistida principalmente por las capas concéntricas del anillo fibroso. Sin embargo, la tendencia del anillo fibroso ante la carga es a realizar un movimiento de pandeo, que consiste en la aparición de un desplazamiento importante transversal a la dirección de la carga. Este pandeo es resistido por el núcleo pulposo hidrostático. Cuando el núcleo es comprimido ejerce una presión radial que refuerza y endurece el anillo y esto evita el pandeo. Los discos permiten un pequeño rango de flexión-extensión, alrededor de 13° por segmento, mientras que el anillo fibroso del lado que se produce el movimiento es comprimido, el del lado opuesto es estriado (Bogduk, 2012a). Si bien están bien diseñados para resistir la compresión, están mal diseñados para resistir la rotación axial. Debido a que las fibras de colágeno del anillo fibroso se alternan en la dirección de las capas sucesivas, solo la mitad está disponible para resistir la rotación axial en una dirección u otra. Para dar estabilidad en la rotación axial, los cuerpos vertebrales lumbares y los discos intervertebrales se apoyan en los elementos posteriores de las vértebras lumbares. Los elementos posteriores se basan en un arco que está sostenido por pedículos robustos que emanan de la superficie posterior superior de cada cuerpo vertebral. Los pedículos sirven para transmitir fuerzas de los elementos posteriores sucesivos a los cuerpos vertebrales que controlan la posición y los movimientos de los cuerpos vertebrales. El arco se completa por las láminas izquierda y derecha que se unen en la línea media. De la unión de las láminas surge una gran apófisis espinosa y desde la unión entre el pedículo y la lámina en cada lado surge un largo proceso transversal. Estos procesos sirven como palancas a las que se unen los músculos que controlan los movimientos de las vértebras lumbares (Bogduk, 2016). En sus esquinas laterales superiores e inferiores, respectivamente, cada lámina tiene un proceso

*articular superior e inferior. Como grandes mitones, el par de procesos articulares superiores alcanza cranealmente para agarrar al proceso articular inferior de la vértebra que se encuentra por encima y así forman la articulación cigapofisiaria. El plano de estas articulaciones es paralelo al eje longitudinal de la columna lumbar. Consecuentemente, durante la flexión de los cuerpos vertebrales, el proceso articular inferior se desliza libremente fuera de las cavidades formadas por el proceso articular superior, hasta que el movimiento es detenido por la tensión de la cápsula de la articulación (Bogduk, 2012a). El eje de este movimiento típicamente recae sobre el disco inferior a la vértebra en movimiento que indica solo una pequeña cantidad de translación por cada grado de rotación de la vértebra en movimiento. A medida que se mueven los procesos articulares inferiores, estos se levantan del proceso articular superior, equivalente a una subluxación parcial de la articulación. Los meniscoides fibroadiposos protegen las superficies expuestas de los cartílagos articulares durante el desplazamiento (Bogduk, 2016). En la vista axial, las articulaciones cigaopofisiarias presentan diversas apariencias planas, forma de C o forma de J, que corresponden con la función primaria de la articulación. Las articulaciones planas principalmente están en la zonas medial y posterior. Las en forma de C tiene un extremo anterior que mira hacia atrás y un extremo posterior que mira hacia medial. Las articulaciones en J tienen un pequeño reborde que mira hacia atrás y una larga superficie que mira hacia medial. La superficie que mira hacia medial sirve para resistir la rotación axial de la vértebra. Al intentar la rotación axial de la vértebra el proceso articular inferior balancea lateralmente, pero este movimiento es detenido por el proceso articular opuesto. El rango de movimiento está limitado a 2° por segmento y se produce solo por la compresión del cartílago articular. Las superficies que miran hacia atrás sirven para resistir el desplazamiento anterior (listesis) de la vértebra (Bogduk, 2016). Las articulaciones cigapofisarias lumbares pueden ser una fuente de dolor lumbar, pero la prevalencia es incierta.*

*Parece ser poco común en trabajadores lesionados, pero es más común en pacientes de edad avanzada (Bogduk, 2008, 2012b). La causa más común de dolor lumbar crónico es la rotura del disco interno (Bogduk et al., 2013). Esta condición se caracteriza por la degradación del núcleo pulposo del disco afectado y el desarrollo de fisuras radiales en el anillo posterior o posterolateral. Esta situación ha sido reproducida en animales de laboratorio y estudiada en numerosos estudios clínicos. La etiología se debe a lesiones por compresión que producen pequeñas fracturas en la placa terminal de la vértebra. Estas resultan en la degradación de la matriz del núcleo pulposo. Como el núcleo se vuelve menos capaz de retener agua, pierde la capacidad de presurizar y reforzar el anillo. Este anillo no reforzado progresivamente se deslaminiza, particularmente en las regiones de alto estrés donde la lámina es curva, en las esquinas posterolaterales o en el sector paramediano posterior. El dolor surge como resultado de una irritación química de los nociceptores del anillo por degradación de los productos del núcleo, y como resultado del incremento del estrés mecánico que se produce sobre las láminas supervivientes e intactas del anillo. Si existen varios grados de desplazamiento, esta condición puede ser diagnosticada por los rasgos característicos de la resonancia magnética. (Bogduk et al., 2013). Como tratamiento a este problema, se han practicado intervenciones mínimamente invasivas, como la ablación de los nociceptores del disco, la inyección de antiinflamatorios o la medicina regenerativa como la inyección de células madre (Bogduk, 2016).*

### **1.1.2.2 Músculos de la columna**

*La anatomía de los músculos de la columna cervical y lumbar se compone de numerosas inserciones.*

*Existen pequeños músculos que conectan consecutivamente los procesos espinosos y los transversos. Son demasiado pequeños para mover las vértebras de forma efectiva, pero sirven como propioceptores de la columna.*

*Los músculos prevertebrales se encuentran solamente en la columna cervical (Standring, 2008). El longus collis, músculo largo del cuello, conecta los cuerpos de las vértebras y los procesos transversos de las vértebras cervicales. Este está cubierto por el longus capitis o músculo largo de la cabeza, que ancla el cráneo a las vértebras cervicales. Estos músculos son débiles flexores de la cabeza y cuello.*

*Varios músculos suboccipitales controlan la posición de la cabeza en relación con el Atlas y Axis. Estos son el recto anterior y recto lateral anterior, y el rectus capitis posterior mayor y menor acompañados por el oblicuo inferior y oblicuo superior posteriormente (Standring, 2008).*

*Los músculos postvertebrales están alineados sistemáticamente, a lado y lado por capas. El multifido es el músculo más medial y profundo. Sus fascículos surgen de los procesos espinosos y descienden para insertarse en varios procesos articulares y transversos uno o varios segmentos inferiores. Está flanqueado por el sistema de músculos longísimos, los cuales se insertan en los procesos transversos cerca de sus bases y cuyos fascículos son grandes a nivel lumbar y minúsculos a nivel cervical. Más lateralmente discurre el sistema iliocostal, el cual se inserta en los procesos transversos, pero cerca de las puntas y cuyos componentes son, igualmente grandes a nivel lumbar pero minúsculos a nivel cervical. El sistema semiespinal es vestigial a nivel lumbar, pero se encuentra bien desarrollado a nivel cervical. Este sistema semiespinal surge desde los procesos espinosos cervicales y cubre al multifidus con fascículos más largos que este último. El semiespinal capitis surge del occipucio y se ancla en el proceso transversal cervical. Es el mayor músculo dorsal del cuello y está cubierto por el músculo esplenio, que pasa craneal y lateralmente desde el rafe del ligamento nuchal para envolver a todos los músculos posteriores del cuello. El esplenio cervicis alcanza la parte superior de los procesos transversales cervicales mientras que el esplenio capitis alcanza la línea nuchal superior. Los diferentes músculos cervicales postvertebrales descritos actúan para extender la cabeza y la columna cervical. (Bogduk, 2016).*

*Otros músculos usan la columna vertebral de forma accidental, como base desde la que actuar sobre estructuras no espinales. Algunos ejemplos son el músculo escaleno, el cual*

*actúa sobre las costillas; el elevador de la escápula y el trapecio, que actúan sobre la cintura escapular. El esternocleidomastoideo es el principal flexor y rotador de la cabeza y el cuello, pero pasa directamente del manubrio y la clavícula a la cabeza sin ninguna conexión con la columna cervical. Cuando el Atlas se encuentra bloqueado por la articulación atlanto-occipital, rota gracias a que el esternocleidomastoideo gira la cabeza (Bogduk, 2016).*

*En la columna lumbar, el Psoas mayor surge de los cuerpos vertebrales, discos y procesos transversos para actuar sobre el fémur, pero no mueve la columna lumbar. El músculo cuadrado lumbar se inserta en los procesos transversos lumbares, pero actúa principalmente sobre la duodécima costilla. Su acción sobre la columna lumbar es superficial. El abdominal transversal emerge de los procesos lumbares transversos y prácticamente no tienen ningún efecto sobre las vértebras lumbares. Así mismo, el músculo dorsal ancho gana algún anclaje sobre los procesos espinosos lumbares, pero tiene una acción insignificante sobre la columna lumbar (Bogduk, 2016).*

### **1.1.2.3 La alineación de la columna vertebral**

En el plano frontal la alineación de la columna es sencilla: la columna vertebral es vertical con un eje medial que pasa por el medio del sacro (Lord 2000).

En el plano sagital debemos considerar a la pelvis como la piedra angular de la alineación de la columna. El concepto de Jean Dubousset de que “toda la pelvis es una vértebra” desencadenó numerosas investigaciones sobre la relación entre la morfología pélvica y la alineación sagital espinal. En el trabajo de Ginette Duval\_Beapere, identificó tres parámetros pélvicos interrelacionados geoméricamente: la incidencia pélvica (PI), la inclinación pélvica (PT) y la pendiente sacra (SS) donde  $PI=PT + SS$ . (DeLong, 2007; Bassel, 2015).

Debido a la movilidad limitada de la articulación sacroilíaca, la incidencia pélvica (PI) es un parámetro anatómico fijo definido como el ángulo creado por la intersección entre una línea dibujada desde el centro de las cabezas femorales hasta el medio de la placa terminal sacra S1 y la línea que corre perpendicularmente hasta el medio de la placa terminal sacra S1. La inclinación pélvica se define como el ángulo entre la vertical y una línea desde el centro de las cabezas femorales hasta el punto medio de la placa terminal de la S1. El PT cuantifica la rotación pélvica alrededor de las cabezas femorales, que es

un mecanismo compensatorio para la mala alineación positiva de la columna. La pendiente sacra se define como el ángulo entre la placa terminal sacra de la S1 y una horizontal. (Loram, Maganaris y Lakie, 2004; Takakusaki, 2005)

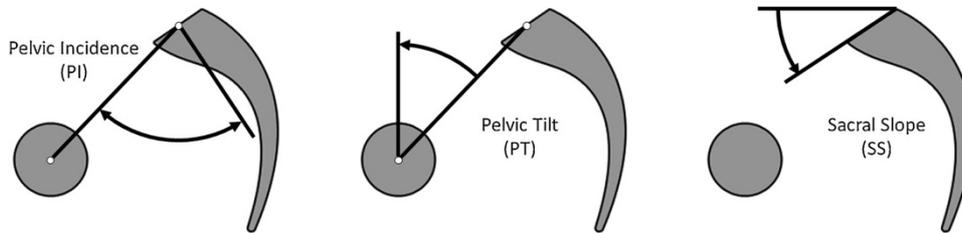


Figura 3. Parámetros pélvicos radiográficos. (Bassel et al., 2015)

Una pendiente sacra horizontal va asociada con un ángulo de la lordosis lumbar pequeño. Aun así, la pendiente sacra puede estar alterada en pacientes con desalineación debido a una retroversión pélvica por lo que la SS no se puede tomar como dato seguro (Lord, 2000).

La PI es un parámetro morfológico único en cada individuo y tiene una fuerte relación con el ángulo de lordosis lumbar (Lord 2000; Krause 2014).

La alineación sagital de la columna cervical es la (cSVA) “Cervical Sagittal Vertical Axis” cuantifica la alineación de la región cervical y la define como la desviación sagital de una plomada que cae desde el centro de la C2 hasta la cara posterior superior de la C7. En consecuencia, la curvatura cervical C2-C7 se define como el ángulo entre las placas terminales sacras de C2 y C7. Clásicamente ha sido una curvatura lordótica aceptada como una alineación “normal”. Sin embargo, algunos trabajos como los de Faline et al. y de Huec et al. demuestran la prevalencia de curvaturas cervicales cifóticas o neutras en la población sana (Lord, 2000; Krause, 2014).

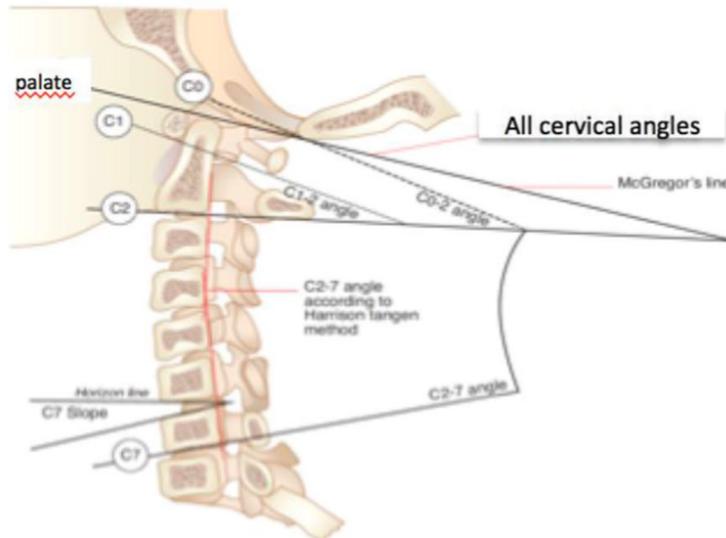


Figura 4. Parametros cervicales (Le Huec, 2019)

La curvatura torácica se obtiene de la medición entre de la placa terminal de la T1 y la placa terminal de la T12. Ha sido demostrado que el valor de la cifosis torácica es igual a 0,75 veces el total del ángulo de la lordosis lumbar (Krause, 2014; Bassel, 2000).

La lordosis lumbar, de acuerdo con Roussouly, es la medida entre el punto de inflexión de la lordosis lumbar con la cifosis torácica y la placa terminal de la S1 (Krause, 2014; Bassel, 2015).

La alineación global de la columna es comúnmente cuantificada mediante el (SVA) o Eje Sagital Vertical. Se define como la desviación sagital de una plomada que cae desde el cuerpo vertebral de la C7 hasta la esquina posterosuperior de la placa sacra (Krause, 2014).

Un SVA por encima, entre o por debajo del rango aceptable clasifica la alineación en positiva, neutra y negativa respectivamente. La sensibilidad de SVA a la mala alineación sagital y sus clasificaciones inequívocas facilitan su utilidad en la práctica clínica (Krause, 2014).

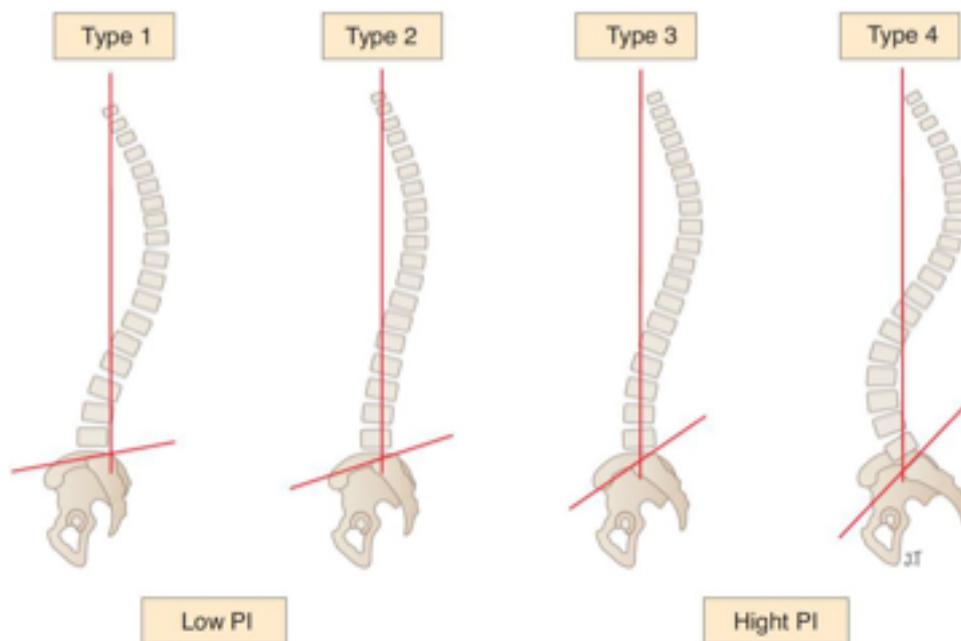


Figura 5. Diferentes tipos de columna según Rousouly (Le Huec, 2019)

#### 1.1.2.4 Propiocepción, músculos, cápsulas y articulaciones en el control postural

Los músculos son los tejidos encargados tanto del mantenimiento de la postura corporal, la estabilidad y balance como del movimiento activo-evocado.

El sistema nervioso central presenta un sistema autónomo, inconsciente e independiente que procesa en todo momento la información útil sobre la situación espacial del organismo y continuamente envía órdenes a los músculos para mantener un estado de equilibrio postural necesario, mediante la activación armónica de haces musculares agonistas y antagonistas e incluso generando un patrón aferencial para mover un pie y cambiar la postura general del organismo si considera que la demanda energética será inferior en la nueva posición.

La estabilización postural está provista pues de un reflejo de estiramiento, reflejos intermusculares y por propiedades intrínsecas de los músculos. Tomados en conjunto, estos mecanismos de estabilización resisten las desviaciones de la postura en la que se mantiene el equilibrio entre las fuerzas externas y las correspondientes reacciones musculares (Rieman y Lephart, 2002)

La propiocepción consiste en la aferencia nerviosa generada por los estímulos mecánicos localizados en los músculos, tendones y en las cápsulas de las articulaciones (Lakie et al., 2003; Loram et a.,l 2005 ). Un componente importante del control postural

es la capacidad de detectar el balanceo del cuerpo, que en posición vertical resulta principalmente en variaciones de la longitud del músculo de la pierna inducidas por rotaciones alrededor de la articulación del tobillo (Di Giulio et al., 2009).

Los órganos tendinosos de Golgi se disponen en serie entre las fibras musculares idealmente para codificar las variaciones en la fuerza desarrollada por las fibras musculares, que se contraen y transmiten la sensibilidad tanto de la fuerza como de la pesadez (Proske, 2006; Roussouly, 2011).

En consecuencia, aunque las señales propioceptivas se originen en múltiples mecanorreceptores, hay un acuerdo general que los receptores del huso muscular proporcionan la fuente primaria de información para el control postural (Henry y Baudry, 2019).

Además, las señales propioceptivas desencadenan una respuesta postural rápida, automática y coordinada ante movimientos inesperados de las superficies sobre las que se apoye el organismo, sugiriendo que las largas fibras aferenciales (aferencias I a) son críticas en cuanto al tiempo de respuesta automática postural para asegurar un control coordinado del centro de la masa del cuerpo y el equilibrio después de una perturbación inesperada (Stapley, 2002).

#### **1.1.2.5 Propiocepción muscular**

Los husos neuromusculares son sensores que consisten en fibras intrafusales encerradas en una vaina en forma fusiforme, dispuestas en paralelo a las fibras musculares extrafusales, haciéndolas muy sensibles a la longitud del músculo y su ratio de cambio (Henry y Baudry, 2019).

Estos husos neuromusculares se encuentran ampliamente repartidos por el vientre muscular, que se estiran cuando el músculo se alarga, lo que resulta en la generación de potenciales de acción en fibras aferentes que forman sinapsis con motoneuronas alfa e interneuronas o transmiten la información propioceptiva directamente a la corteza sensorial-motora y cerebelo (Henry y Baudry, 2019).

Las neuronas motoras gamma proporcionan la inervación motora de las fibras intrafusales para modular la sensibilidad de los husos neuromusculares a los cambios de longitud del músculo. Estas neuronas denominadas neuronas fusimotoras contienen fibras gamma dinámicas y gamma estáticas. El impulso fusimotor (gamma moto

neuronas), modula la sensibilidad dinámica como estática de los husos neuromusculares con los requerimientos de las actividades a realizar (Prochazca, 1989).

### **1.1.3 Sistema Vestibular**

El sistema vestibular provee de información sobre el movimiento de la cabeza y la orientación, utilizando la estimulación de señales aferentes por el movimiento de los otolitos en los canales semicirculares (Forbes et al., 2016).

Esta información viaja hacia diferentes estructuras corticales para ser decodificada, integrada y modulada, aunque existe una falta de estudios en humanos sobre cómo las señales vestibulares se integran con otras señales sensoriales a nivel neural (Lopez, 2015a).

En modelos animales se ha podido demostrar la convergencia de señales vestibulares y somatosensoriales en varias estructuras cerebrales a lo largo de la vía vestibulo-tálamo-cortical, incluidos los núcleos vestibulares en el tronco del encéfalo, varios núcleos talámicos y múltiples áreas corticales (Guldin y Grüsser, 1998; Lopez, 2015b; Lopez y Blanke, 2011).

Con respecto a la convergencia multisensorial en el tronco encefálico, las neuronas bimodales que responden a la estimulación de los receptores musculares propioceptivos, táctiles y vestibulares se han identificado en los núcleos vestibulares (Roy y Cullen, 2004). Desde el núcleo vestibular se proyecta a otras estructuras de tronco cerebral como el núcleo parabraquial y el núcleo del tracto solitario relacionadas con la nocicepción (Stapley, 2002)

En el tálamo, la respuesta vestibular ha sido identificada en los núcleos ventrales posterior, las neuronas en estos núcleos responden a las señales propioceptivas de los músculos y articulaciones y codifican los movimientos pasivos del cuello, hombros, piernas y columna vertebral (Lopez y Blanke, 2011). También las neuronas vestibulares talámicas responden a los patrones visuales en movimiento (Magnin y Putkonen, 1978). En el córtex cerebral, se han detectado varias áreas donde convergen las señales vestibulares, somatosensoriales y visuales. Una región importante que se ha detectado en varias especies de monos, de convergencia multisensorial es el córtex vestibular parieto-insular, localizado en la zona posterior del surco lateral, en la unión entre la ínsula con el córtex retroinsular y somatosensorial (Guldin y Grüsser, 1998).

Las señales vestibulares además de dar información de la posición de la cabeza también informan sobre las propiedades métricas del cuerpo. Pierre Bonnier observó que en pacientes con trastornos vestibulares periféricos también sufrían distorsiones de tamaño corporal (Lopez, 2015)

Algunos investigadores sugieren que, de los impulsos aferentes relacionados con el control postural, el sistema vestibular no es tan importante en cuanto al tiempo de respuesta postural automática como lo es el sistema propioceptivo. Estas observaciones provienen de realizar una laberintectomía bilateral en gatos (Inglis, 1995; Baudry, 2014).

#### **1.1.4 Sistema visual**

La visión provee de información de nuestro movimiento en el entorno, por lo que tiene una importancia principal en el control motor, a menudo anulando otras fuentes de información aferente. Para el control motor, podemos distinguir dos tipos de visiones, la visión focal y la visión periférica, que tiene diferentes características funcionales y de procesamiento de la información. La visión focal es la responsable de detectar las características físicas de los objetos, mientras que la visión periférica se ocupa de detectar las características espaciales del mundo circundante. En cuanto al mantenimiento de la postura corporal parece ser que tiene una mayor importancia esta visión periférica que la visión focal (Forbes, 2016).

Existe evidencia científica que avala el importante papel que juega la visión en el control postural. Algunos experimentos como la sala en movimiento de Lee y el efecto Romberg, demuestran este efecto de manera convincente en niños y adultos (Ashemad, 1991; Paulus, Straube y Brandt, 1984). Cuando una persona cierra los ojos, el balanceo corporal puede aumentar entre un 20 a un 70%, dependiendo de cómo sean los valores de medición y la edad de los sujetos (Magnusson, 1990).

#### **1.1.5 Actores secundarios en el sistema tónico postural**

Algunos autores consideran que la propiocepción proveniente de los músculos tibiales anteriores puede tener como consecuencia cambios en el patrón de balanceo, jugando un papel relevante en el control postural. En cambio, los músculos flexores plantares que se han considerado importantes en la posición de bipedestación, puede que no

tengan un papel importante en el control postural según algunos investigadores como Baudry et al., 2012 y Loram et al., 2004.

#### **1.1.5.1 Superficie Plantar**

El pie es un actor protagonista en los mecanismos de control y regulación postural durante la bipedestación. Es la conexión directa entre el cuerpo y el suelo sobre el que reposa, enviando la información cutánea plantar sobre las características de la superficie contribuyendo al control postural. La información aferente la proporciona a través de cuatro clases de mecanorreceptores de umbral bajo que inervan el tejido cutáneo del pie. Estos mecanorreceptores son altamente sensibles a las fuerzas aplicadas sobre la superficie plantar. Cada terminación aferente presenta una propiedad receptiva determinada. Pueden ser activadas por estímulos mecánicos, deformaciones de los pliegues de la piel, vibraciones o estiramientos. Podemos encontrar receptores de rápida adaptación tipo I (Meissner) y tipo II (Pacini) sus fibras aferentes son sensibles a los estímulos dinámicos y receptores de lenta adaptación tipo I (Merkel) y tipo II (Ruffini) que responden al estiramiento o presión sostenido de la piel, así como terminaciones libre amielínicas tipo C, que conducen el impulso nervioso a una velocidad tan lenta como 1m/s y responden a presiones muy sutiles. Estas aferencias cutáneas proveen de una detallada información sobre las presiones ejercidas sobre la superficie plantar (Rossouly, 2011).

Según diferentes autores, la activación de receptores cutáneos mediante vibración mecánica en zonas localizadas del pie:

1. Inducen reacciones posturales específicas y predecibles (López, 2015).
2. Mejora el control del equilibrio reduciendo el balanceo postural (Roy y Cullen, 2004).
3. Modula la respuesta autónoma aferente durante los retos posturales (Balaban, 2004).

Otros autores determinan que las aferencias cutáneas de la superficie plantar del pie tiene un efecto muy débil, si lo hay, sobre el control postural durante la bipedestación estática. (Guldin, 1998; Hock y Rusell, 2015).

## **1.2. OCLUSIÓN DENTAL**

La dentición permanente del ser humano se compone de 32 dientes, divididos en grupos según su morfología y/o función, se alcanza alrededor de los 18 a los 21 años a la espera de la erupción del tercer molar. Los dientes más anteriores, los incisivos, cuatro superiores y cuatro inferiores presentan una raíz larga y de sección oval con su diámetro mayor vestibulo palatino, una corona aplanada con su diámetro mayor mesio-distal con una convexidad vestibular y una concavidad palatina o lingual, con un borde incisal recto y cortante y su función principal es el corte del alimento. A lado y lado de este grupo de dientes aparece el canino o cuspídeo. Es el diente con la raíz, en promedio, más prominente. De sección ovalada con su diámetro mayor vestibulo palatino, convexa su cara externa y cóncava su cara interna, que llegando al tercio inferior de la corona sus dos vertientes exteriores se acercan hasta formar una cúspide. Su función es de corte del alimento. A continuación, aparecen los premolares o bicúspides, que suele presentar variabilidad radicular, desde una raíz única de sección ovalada con diámetro mayor vestibulo palatino, raíz única que se bifurca en su tercio más apical a dos raíces bien desarrolladas son las situaciones más comunes. Con una corona que presenta dos cúspides, una vestibular y una palatina. En el primer premolar la cara vestibular de la corona supera en tamaño a la palatina, esta situación no se da en el segundo premolar donde sus cúspides son de tamaño similar.

Seguidamente aparece grupo molar. El primer molar superior es el diente de mayor tamaño con una cara oclusal en forma romboidal y 4 cúspides oclusales, dos vestibulares y dos palatinas separadas por dos fosas, una central y otra distal. Existen variaciones en cuanto a la disposición de los surcos y el número de cúspides presentes como el tubérculo de Carabelli. Los primeros molares inferiores presentan una cara oclusal cuadrada rectangular, puede presentar cuatro o cinco cúspides, tres vestibulares y dos linguales. El segundo molar superior acompaña en la oclusión al primero y presenta unas

raíces más largas que el primero, la cúspide distopalatina es más pequeña y no presenta quinta cúspide. El segundo molar inferior es el diente de mayor tamaño de la arcada inferior y puede presentar cuatro o cinco cúspides como el primer molar inferior.

### **1.2.1 Oclusión dental clásica**

Definimos oclusión dental cuando los dientes se encuentran en contacto en una situación estable y reproducible. Podemos diferenciar entre posición en intercuspidad máxima (PIM), que es aquella donde encontramos el mayor número de contactos dentales; y posición en relación céntrica PRC, que es aquella donde los cóndilos se encuentran en la posición más anterior y superior del cóndilo dentro de la cavidad glenoidea. La oclusión funcional o habitual OF/OH es aquella que utiliza el sujeto habitualmente al realizar la función masticatoria y suele coincidir con PIM, aunque hay situaciones en las que no.

### **1.2.2 Biomecánica de la oclusión**

La biomecánica permite comprender mejor la oclusión dental a través de la relación estructura-función. La biomecánica explora las características mecánicas, como las fuerzas y el movimiento, de los sistemas biológicos y utiliza cuando es posible, modelos matemáticos para ayudar a derivar las propiedades mecánicas. Actualmente es muy difícil medir todas las variables biomecánicas directamente, como las fuerzas oclusales dentales y musculares durante la función normal de la mandíbula. Además, los dispositivos de medición, como los gnatodinamómetros y los kinesiógrafos, muy frecuentemente no se pueden utilizar en condiciones fisiológicas, y probablemente esto influye en los parámetros biológicos que se están estudiando (Peck et al., 2015).

El sistema masticatorio es funcionalmente complejo con seis grados de movimiento posibles (es decir, movimiento en cualquier lugar del espacio descrito como traslación y rotación alrededor de tres ejes mutuamente ortogonales) y la coactivación de dieciséis grupos de músculos de la mandíbula que resulta en interacciones de fuerza complejas en los dientes. Este sistema de la mandíbula es indeterminado y, en teoría, existen infinitos patrones de coactivación muscular para producir una fuerza de mordida o un movimiento de la mandíbula deseados (Peck et al., 2015). Sin embargo, los movimientos

reproducibles de contacto de los dientes y los movimientos rítmicos de la mandíbula son comunes durante la función, con un patrón de comando motor regular generado en el tronco encefálico (Nakamura y Katakura, 1995).

### **1.2.3 Oclusión: un sistema de adaptación y precisión**

Hay pocas áreas en la odontología que generan el nivel de debate como lo hace el área de la oclusión dental. Si bien nadie discutirá sobre la afirmación de Posselt de que 'la oclusión es un principio básico en odontología' (Posselt, 1968), no existe evidencia con respecto a la relación oclusal óptima (Turp, Greene y Strub, 2008) y tampoco sobre la oclusión ideal en los procedimientos dentales (Carlsson, 2009).

Las razones de esto incluyen la gran variación en las oclusiones dentales en la población, la falta de criterios de diagnóstico validados para muchos problemas oclusales y el término maloclusión que sugiere que algo funciona mal a pesar de que el 70% de los jóvenes en América del norte tienen una maloclusión (Kelly y Harvey, 1977). Es importante señalar que un esquema oclusal particular no es un predictor de enfermedad, y existe una superposición significativa de características oclusales entre individuos con y sin trastornos de la mandíbula (Zakrzewska y Lopez, 2004; Pullinger, 2013). De hecho, es probable que la diversidad de patrones oclusales en las poblaciones haya aumentado notablemente con el advenimiento de la agricultura y la industrialización y la consiguiente reducción de las presiones selectivas que causan la adaptación genética (Michael et al., 2009). Los estudios de poblaciones aborígenes australianas que vivieron tradicionalmente demuestran una alta frecuencia de protrusión bimaxilar, desgaste oclusal e interproximal significativo y oclusión equilibrada (contactos dentales posteriores bilaterales durante el movimiento lateral) y función de grupo (contactos de dientes múltiples en el lado de trabajo, o lado hacia el que se desplaza la mandíbula durante un movimiento lateral ) que se relacionan en gran medida con demandas funcionales (Kaidonis, 2014). Los cambios más recientes se demuestran en Finlandia, donde los esquemas oclusales se han comparado durante los últimos 400 años (Varela, 1990). En el siglo XVII, las mordidas distales o mordidas retrusivas, las mordidas profundas, las mordidas cruzadas posteriores y el apiñamiento maxilar ocurrieron en menos del 5% de una comunidad finlandesa. Esto ha aumentado a prevalencias de entre el 15 y el 25% en la década de 1950, como resultado de las demandas funcionales

cambiantes, como la transición dietética de alimentos duros a blandos. Estos cambios oclusales, ejemplificados anteriormente en poblaciones aborígenes australianas y finlandesas, son probablemente el resultado de una adaptación continua a las demandas funcionales. De hecho, es probable que las oclusiones guiadas anteriores, que actualmente predominan en muchas sociedades, estuvieran presentes en estas sociedades anteriores a la nuestra como una fase transitoria durante el desarrollo de un individuo (Kaidonis, 2008). Además, aunque no hay evidencia que indique que un esquema oclusal predomine sobre otro (Rinchuse, Kandasami y Sciote, 2007), se ha sugerido que, en la rehabilitación oral, la guía canina se favorece con frecuencia sobre la función grupal (Thorton, 1990), y esto es probable debido a su relativa importancia, facilidad de diseño y fabricación y actividad muscular relativamente menor y, en consecuencia, menores fuerzas sobre la dentición (Thorton, 1990).

Otro ejemplo de la adaptación de la estructura a la función es la orientación de la dentición. con las curvas de Spee y de Wilson (Nakamura y Katakura, 1995). Es probable que estén formados para garantizar que los dientes estén alineados en paralelo a las fuerzas de cierre de la mandíbula, de modo que las fuerzas se transmitan a lo largo del eje del diente y así minimizar cualquier daño a la dentición y al periodonto. Además, el esquema oclusal puede influir en la estructura muscular al alterar el contenido mitocondrial, el área transversal de las fibras musculares, la composición del tipo de fibra y, en última instancia, puede mejorar la capacidad masticatoria (Grunheid et al., 2009).

La percepción oclusal es excelente, y la mayoría de las personas pueden detectar espesores de 10 a 35 micras entre los dientes (Tryde, Frydenberg y Brill, 1962). Además, somos capaces de agarrar y colocar con precisión un bocado de comida entre nuestros dientes y las fuerzas necesarias para esto están reguladas en gran medida por mecanorreceptores periodontales (Johnsen, Svensson y Trulsson, 2007). Estos receptores son particularmente sensibles a tales fuerzas de "retención" de la luz y demuestran la mayor sensibilidad para fuerzas inferiores a 1 Newton aplicadas a los dientes anteriores y 4 Newtons a los dientes posteriores (Trulsson, 2007). La pérdida de la inserción periodontal, la anestesia y los implantes dentales afectan esta capacidad funcional (Trulsson, 2007). A la inversa, se puede esperar que la alteración del periodonto (por ejemplo, un traumatismo) pueda dar como resultado una

sensibilización persistente de los mecanorreceptores periodontales y una mayor conciencia oclusal. Es importante destacar que tales fenómenos pueden estar influenciados por aspectos psicológicos y sociales como es el caso de la sensibilización y el dolor crónico (Nijs et al., 2014).

#### **1.2.4 Fuerza de oclusión y mordida**

Hoy en día, se requiere una oclusión dental funcional principalmente para la masticación, ya que proporciona las "herramientas" dentro del sistema masticatorio a través de las cuales se aplican fuerzas musculares para hacer una incisión y triturar los alimentos. Si bien los dientes se pueden usar para otras tareas como la prensión o como armas, esta no es la norma en la sociedad humana moderna. Las fuerzas de mordida se generan por la coactivación de los músculos masetero, pterigoideo medial y temporal (los músculos primarios más cercanos de la mandíbula). La generación de fuerza potencial de estos músculos más cercanos a la mandíbula está relacionada con el tamaño de la sección transversal y la longitud del músculo. Un músculo puede generar del orden de  $37 \text{ N/cm}^2$  en su longitud óptima, que se encuentra en algún lugar entre un músculo acortado y completamente extendido (Weijs y Hillen, 1985).

Para los músculos más cercanos de la mandíbula, esta longitud óptima se encuentra en una posición entre la mandíbula cerrada y las posiciones de apertura amplia, y para cada uno de los músculos más cercanos, esta posición óptima no es necesariamente en la misma apertura. En consecuencia, cuando se considera la longitud óptima de todos los músculos más cercanos de la mandíbula, los seres humanos pueden generar la fuerza máxima de cierre no con los dientes intercuspidados, sino en dos espacios: un espacio interincisal a aproximadamente 20 mm y nuevamente a 40 mm (Fields et al., 1986).

El patrón oclusal moderno está dictado en gran parte por las fuerzas aplicadas a la mandíbula. Mientras que las fuerzas de mordida tienden a estar predominantemente alineadas verticalmente y en paralelo con el eje largo de los dientes, con un rechinar de alimentos, existen fuerzas de cizalla entre los dientes con fuerzas dirigidas lateralmente y / o anteroposteriormente. Captar esto es importante, ya que los sensores deben ser capaces de detectar tales fuerzas tridimensionales y no interferir con la oclusión o función dentaria. Normalmente los medidores de fuerza de mordida simples se utilizan comúnmente para las fuerzas verticales típicamente uniaxiales, y se

miden entre pares de dientes opuestos o en todo el arco dental con láminas sensibles a la presión que cubren todos los dientes. Es de destacar que estas herramientas pueden influir en la fuerza de mordida, ya que aumentan la dimensión vertical oclusal, las longitudes de los músculos de cierre y, en consecuencia, sus tensiones musculares (Ayuso-Montero R et al., 2020). Además, la fuerza de la mordedura depende de la cooperación y motivación del sujeto. A pesar de estas limitaciones, los instrumentos de fuerza de mordida simples proporcionan un método rápido de medir las fuerzas interoclusales para evaluar el estado funcional del sistema masticatorio y la carga sobre los dientes (Bakke ,2006).

### 1.2.5 Oclusión y movimiento de la mandíbula.

El movimiento de la mandíbula se ha estudiado ampliamente tomando como referencia algún punto del plano oclusal, siendo Ulf Posselt uno de los primeros en describirlo con precisión en tres dimensiones (Posselt, 1952).

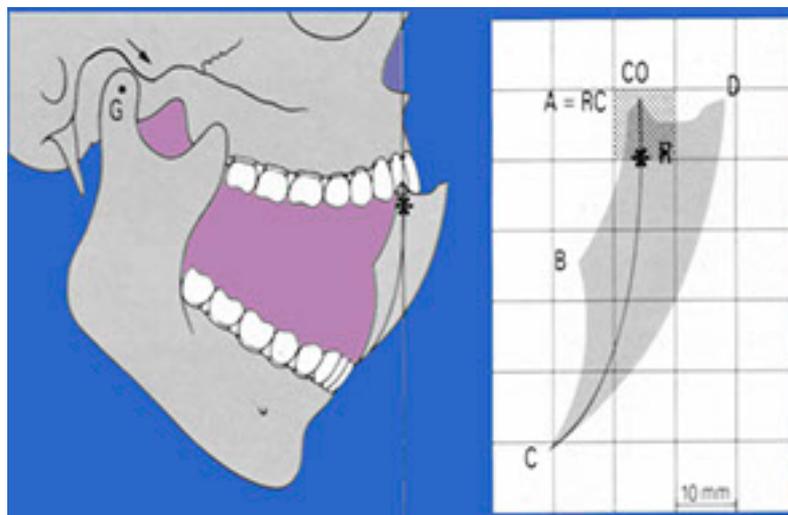


Figura 6. Bicuspoide de Posselt

El rango de movimiento horizontal (es decir, trayectorias oclusales) de los dientes incisivos y molares es similar, pero el sentido, vertical el rango de movimiento es considerablemente mayor en los incisivos que en los molares (Bando et al., 2009). Las trayectorias oclusales están, por definición, dictadas por determinantes anteriores como la sobremordida dental anterior y otras relaciones de contacto de los dientes y los

determinantes posteriores como la guía condilar de las articulaciones temporomandibulares (Price, Kolling y Claiton, 1991).

Desde una perspectiva biomecánica, los determinantes anteriores, en comparación con los determinantes posteriores, tienen una mayor influencia en los patrones de contacto de los dientes. Por ejemplo, considere una sobremordida dental anterior profunda (determinante anterior) que probablemente causará una desoclusión dentaria posterior en los movimientos mandibulares protrusivos o laterales. La guía condilar influirá en los contactos de los dientes en los casos en que los molares entren en contacto o estén cerca de hacerlo durante los movimientos de la mandíbula. En tales casos clínicos, es importante evaluar cuidadosamente los contactos de los dientes y tomar los registros necesarios para programar el articulador dental durante una rehabilitación oral, para minimizar el riesgo de introducir interferencias oclusales. Estas relaciones de la articulación oclusal y temporomandibular se dan ya que la mandíbula, es un cuerpo rígido y el movimiento en un punto (por ejemplo, un diente) estará relacionado con otro punto (por ejemplo, el cóndilo) (Price, Kolling y Claiton, 1991).

### **1.2.6 Rendimiento de oclusión y masticación**

Hay que situar en contexto el papel de la oclusión dental en la función de la mandíbula. *En funcionamiento normal, los dientes entran en contacto durante la deglución. Durante la masticación, aproximadamente solo el 20% del tiempo se pasa con posibles contactos con los dientes y esto varía con la consistencia de los alimentos, y los alimentos más duros resultan en un menor contacto con los dientes. La duración total de este contacto es de alrededor de 10 a 20 min al día (Sheppard y Markus, 1962)*

Una oclusión dental funcional es importante para la salud general, y el rendimiento masticatorio (determinado por la descomposición de los alimentos) está estrechamente relacionado con el área de contacto oclusal. Los sujetos con mejor rendimiento masticatorio poseen áreas de contacto oclusal más grandes (Lepley et al., 2011; Lujan-Climent et al., 2008). La pérdida de dientes conduce a una capacidad reducida para masticar algunos alimentos y se ha asociado con una ingesta reducida de frutas y verduras y niveles bioquímicos sistémicos más bajos, nutrientes y fibra dietética y un aumento de gastritis, diabetes y obesidad (Emami et al., 2013).

### **1.2.7 Oclusión y ATM**

Desde una perspectiva clínica, los cambios en la articulación temporo-mandibular, incluido el exudado intracapsular y la pérdida de tejido articular, pueden provocar cambios oclusales como mordidas abiertas anterior o posterior (Peck, 2014). A la inversa, los cambios oclusales pueden resultar en cambios articulares, como trayectorias de movimiento alteradas. La alteración experimental de los contactos oclusales da como resultado un movimiento condilar y cambios de posición. La adición de una interferencia del lado de trabajo da como resultado un mayor movimiento del cóndilo de trabajo anteroinferior y los contactos oclusales del lado de balanceo parecen reducir el desplazamiento del cóndilo del lado de balanceo. En comparación con las oclusiones en guía canina, la oclusión de función de grupo simulada causa un desplazamiento condilar del lado de trabajo más pequeño y la oclusión bibalanceada simulada causa desplazamientos condilares del lado no operativo y del lado de trabajo significativamente menores. Estos cambios en el desplazamiento condilar son pequeños y pueden no tener importancia clínica si la capacidad de adaptación del sujeto los tolera. Se necesitan más investigaciones para determinar si tales cambios junto con otros factores (por ejemplo, carga condilar) contribuyen a escenarios que exceden el potencial adaptativo del sistema (por ejemplo, osteoartritis) (Peck 2014).

### **1.2.8 Mordida cruzada unilateral posterior.**

La mordida cruzada unilateral posterior (Unilateral Posterior Crossbite, UPCB) se define como una maloclusión en el canino, premolar y/o molar cuando la cúspide vestibular de los dientes maxilares ocluye lingualmente contra la cúspide vestibular del diente mandibular correspondiente (Bjork, Krebs y Solow, 1964).

Puede desarrollarse durante la erupción de la dentición temporal y puede afectar a la dentición permanente en una etapa posterior del desarrollo (Andrade, 2010; Kurol, 1992), puede tener su origen en una mala relación esquelética o dental, o ambos, y puede conducir a un desplazamiento mandibular (Daskalogiannakis, 2000).

Algunos estudios relacionan la mordida cruzada unilateral con una asimetría funcional de los músculos de la masticación (Andrade, 2009; Sonenssen, 2007), alterandol a

actividad electromiográfica (EMG) (Alarcon, 2000; Ferrario, 1993). En algunos casos, los sujetos con mordida cruzada unilateral pueden presentar signos y síntomas de trastorno temporomandibular tales como dolor, migraña y puntos gatillo, relacionados con el patrón masticatorio (Sonessen, 1998).

La actividad EMG de los músculos de la masticación en los sujetos con normoclusión revela que el generador de la fuerza masticatoria es el músculo Masetero, colaborando las fibras del Temporal Anterior y el estabilizador de la mandíbula. En los movimientos de lateralidad y retrusión participan los fascículos del Temporal Posterior. Sin embargo, en los sujetos con mordida cruzada unilateral posterior, el patrón de la masticación es único y diferente, ya que el Temporal Anterior tiene la mayor actividad masticatoria en vez del Masetero (Alarcon, 2000). Los niños con mordida cruzada unilateral posterior presentan un patrón de masticación anormal cuando el lado que se está usando es el lado afectado, que se caracteriza por un aumento de la frecuencia y una inversión de la secuencia masticatoria (Sever, 2011; Rilo, 2007). La inversión de la secuencia masticatoria significa que la mandíbula primero se desvía medialmente y luego lateralmente, asegurando así la superposición de las superficies oclusales dentales opuestas (Mongini, 1986).

Se han estudiado cuales podrían ser factores de riesgo para este tipo de maloclusión, y Germe A. apunta que los nacimientos pretérminos y el hábito de succión digital tienen una relación directa con las mordidas cruzadas unilaterales posteriores. (Germe, 2016)

### **1.2.9 Circuito del tronco encefálico que controla la masticación**

Los dos comportamientos más comunes en vertebrados, después de la respiración, son la locomoción y la masticación (Lund, 2006). El Generador Central de Patrones (GCP) de la masticación y de la respiración, se encuentra en el cerebro posterior, en la protuberancia y la médula. (Lund, 2006).

El GCP debe incluir neuronas que conectan directamente con las motoneuronas de los núcleos motores de los pares craneales V, VII y XII, y se han llevado a cabo varios estudios para identificar estos núcleos de la región pontino-medular. Se han identificado conexiones entre el núcleo reticular parvocelular, la subdivisión frontal del núcleo espinal del V par, núcleo oralis, y la zona dorsal del núcleo principal del V par (Kolta,

2000). Desde estos núcleos se envían axones a los núcleos de los pares VII y XII (Pinganaud, 1999). Por último, también existen interneuronas en cada núcleo trigeminal. Esta red de interneuronas, están todas ellas conectadas recíprocamente, y todas las conexiones son bilaterales, lo cual ayuda a la coordinación de las dos mitadas del CGP (Bourque, 2001). Tanto en estudios realizados en animales se han identificado conexiones desde las subdivisiones de los núcleos trigeminales, núcleo oralis y dorsal, hasta el asta dorsal de la C1. Con estos resultados, junto con evidencia electrofisiológica, los autores apoyan la hipótesis de que las representaciones orales y faciales se encuentran perfectamente diferenciadas en el segmento de la C1 (Bourque, 2001).

### **1.2.10 Lado de preferencia masticatoria en sujetos con UPCB**

El lado de mordida cruzada coincide con el lado de preferencia masticatoria debido a que presenta un mayor número de contactos oclusales en función (Rilo, 2007; Planas, 2013), y un menor ángulo de cierre en el plano frontal durante los ciclos de masticación. Según estas aseveraciones podríamos asegurar que ante un paciente con UPCB su lado de preferencia masticatoria sería su lado afectado por la mordida cruzada.

El lado de preferencia masticatoria fue definido por Christensen and Raude (1985) “cuando la masticación es realizada repetida y predominantemente en el lado derecho o izquierdo de la dentición”. Considerando que la función masticatoria durante el crecimiento tiene un impacto biológico sobre el crecimiento de las estructuras, una masticación unilateral puede acarrear una asimetría de las estructuras anatómicas (huesos, articulaciones temporomandibulares, músculos y dientes) al finalizar el crecimiento (Liu, 2007). Algunos autores han podido relacionar lado de preferencia masticatoria con trastorno temporomandibular de la articulación homolateral (Santana-Mora, 2013; Rotraut, 2006) definiendo esta relación como el “síndrome de masticación unilateral”.

Y si además de una mordida cruzada posterior hay una mandíbula lateralizada, se podría observar cambios morfológicos estructurales, dado que, los cartílagos de los cóndilos pueden responder ante factores mecánicos (Liu, 2007). Se ha demostrado en animales con fuerzas masticatorias laterales asimétricas una modificación de crecimiento sobre la cara distal del cóndilo después de 6 meses (Curtis, 1991). Así mismo, las fuerzas de masticación laterales en animales en crecimiento influyen en la forma y estructura del

hueso mandibular y composición del masetero, llevando a una mandíbula asimétrica (Nakano et al., 2004). Además, varios estudios coinciden que una lateralización funcional mandibular puede aumentar el grosor del cartílago condilar y la proliferación de precondroblastos en lado contralateral al lado cruzado (Sato, Muramoto y Soma, 2006).

Otros cambios morfológicos descritos en la articulación temporomandibular de pacientes cuando hay un mandíbula lateralizada incluyen una cabeza condilar menor, un espacio condilar superior más pequeño y una eminencia más pronunciada (Akahane, 2001; Ueki, 2000).

Los sujetos con UPCB presentan diferentes cinemáticas de la mandíbula durante la masticación en comparación con los sujetos sin UPCB. Durante la masticación, la mandíbula se desvía lateralmente hacia el lado del bolo y luego medialmente durante el cierre (Witter et al., 1999). A veces, la mandíbula puede desviarse primero medialmente y luego más tarde, asegurando así la superposición de las superficies oclusales dentales opuestas. A esto se le llama "ciclo de masticación inverso". Los ciclos de masticación inverso muestran un patrón anómalo y estrecho que se caracteriza por un desplazamiento lateral más pequeño y una velocidad más lenta de la mandíbula en comparación con la masticación normal. En un paciente con mordida cruzada unilateral, los ciclos inversos ocurren principalmente en el lado de la mordida cruzada, aunque no todos los ciclos se invierten cuando se mastica desde el lado de la mordida cruzada (Rosenoer y Sheiham, 1995). Sin embargo, el ciclo de masticación inverso es muy común en niños con una oclusión normal (Gibs et al., 2002), que presentan un componente lateral más pequeño durante la apertura y cierre que los adultos. Según los autores, el ciclo inverso no es anormal porque los niños con oclusión normal con dentición temporal tienen un componente lateral más pequeño y dificultad para controlar la actividad muscular asimétrica. Por lo tanto, los ciclos de masticación inversa no pueden considerarse patológicos, pero podrían ser una característica fisiológica y común del ciclo de masticación en los niños.

### **1.2.11 Mordida cruzada y fuerza de mordida**

La UPCB podría conducir a una fuerza de mordida significativamente menor en comparación con los sujetos sin mordida cruzada, y esta diferencia no disminuye con la

edad y el desarrollo (Rosenoer y Sheiham, 1995). Sin embargo, no se puede extraer una conclusión definitiva sobre este tema, como consecuencia de la insuficiencia de la evidencia disponible.

### **1.2.12 Mordida cruzada y músculos masticatorios**

El grosor del músculo masetero en sujetos con UPCB es significativamente más delgado en el lado de la mordida cruzada que en el otro. Por otro lado, Andrade et al. (Andrade, 2009) no encontraron diferencias ni entre lados ni entre grupos UPCB y no UPCB. Curiosamente, los mismos autores informaron los hallazgos opuestos en diferentes estudios en un lapso de tres años. Esto podría atribuirse al diferente tamaño de la muestra de los estudios. Por lo tanto, actualmente no se pueden sacar conclusiones sobre el UPCB y el grosor muscular.

### **1.2.13 Asimetría esquelética y UPBC**

La mayoría de los estudios reportan un crecimiento esquelético asimétrico en los pacientes con UPBC, pero aun así no existe una evidencia suficiente para relacionar una UPBC y asimetría esquelética, (Lodice, 2016) debido a la baja calidad de los estudios (Kumar, 2012).

En dos estudios que compararon morfología condilar, encontraron que los pacientes con UPBC presentaban una asimetría tanto en cóndilo y rama en el lado cruzado comparado con el lado no cruzado mientras que en los sujetos con neutro-oclusión no presentaban diferencias significativas, la edad media de los sujetos a estudio era de 14 (Nihat, 2006) y 13 años respectivamente (Ilknus, 2011).

Este tema es controvertido, puesto que en otro estudio realizado por Illipronti-Filho E. (2016), no se encontró ninguna asimetría condilar entre el lado cruzado y no cruzado. La edad media de su muestra era de 8 años, y quizá los niños eran muy jóvenes para dar resultados positivos en este estudio.

### **1.2.14 UPBC y Actividad muscular**

Queda patente por los diferentes estudios que la actividad muscular es diferente entre el lado de la UPCB y el lado no cruzado. Los sujetos con mordida cruzada tienen menor

fuerza masticatoria que los sujetos con neutro-oclusión, pero no se encontró una disminución en el grosor muscular (Kumar, 2012).

También en la dentición mixta se corrobora que existe una menor fuerza masticatoria en el lado cruzado. (Da Silva, 2008)

Durante la masticación los UPBC pueden tener un patrón masticatorio único comparado con neutro-oclusión. (Da Silva, 2008)

Durante la masticación la EMG revela mayor actividad en los temporales anteriores y sobre todo en el lado cruzado. En la deglución se observa una mayor actividad en digástricos que en el grupo control, ejerciendo mayor tensión al deglutir (Da Silva, 2008).

El masetero ipsilateral de la mordida cruzada tiene menor actividad que en el grupo neutro-oclusión. Esto puede ser debido a que el patrón neuromuscular en los UPBC es diferente. Para los UPBC lo más importante para la musculatura es la posición mandibular y conseguir el mayor número de contactos, ésta puede ser la explicación de porque hay tanta actividad en temporales y no en maseteros. La baja actividad del masetero puede ser una inhibición/protección refleja (Da Silva, 2008).

Otros autores aseveran que la actividad muscular en la masticación expresa una correcta relación entre los músculos temporales anteriores y los maseteros en los pacientes neutro-oclusión, pero no así en los UPBC. Esto sugiere que la UPBC tiene un efecto negativo durante la masticación, ya que existe una coordinación muscular pobre (Da Silva, 2010; Krzystof, 2014).

### **1.3. DIFERENTES POSICIONES MANDIBULARES**

Desde el punto de vista clínico, el aparato locomotor mandibular está definido por las estructuras anatómicas que generan y permiten movimientos y posturas tanto activos como pasivos de la mandíbula (Da Silva, 2008). Los movimientos y posturas activos son generados por el sistema motor mandibular; es decir, nervios y músculos. Se producen de forma voluntaria, a través de la inervación consciente de los músculos de la mandíbula, o involuntariamente a través de la inervación inconsciente. Los movimientos y posturas pasivos son generados y guiados por un examinador, generalmente el dentista. El aparato locomotor mandibular está definido por las estructuras anatómicas que permiten movimientos y posturas sin guía activa del sistema motor. El sistema

locomotor dinámico abarca así el aparato locomotor estático, pero no ocurre lo contrario.

El aparato locomotor mandibular también se conoce como aparato masticatorio, sistema u órgano masticatorio y ocasionalmente órgano oral. La principal razón de esto es la presencia normal de dientes temporales o permanentes. La dentición es un aspecto crucial e integral de la anatomía y fisiología normales del aparato locomotor mandibular, diferenciándolo de otros sistemas locomotores del cuerpo humano. Pero hay que tener en cuenta que este aparato locomotor participa en varias otras funciones además de la masticación; por ejemplo, morder, masticar, tragar, vomitar, respirar, hablar, cantar, bostezar, expresiones faciales y como herramienta al agarrar o cortar. En otras palabras, desempeña un papel promotor de la vida y otros roles importantes en los actos digestivos y respiratorios, las interpretaciones vocales y las actividades y el comportamiento humanos más o menos cotidianos.

La mandíbula humana tiene cuatro posiciones de referencia más o menos estables y reproducibles, que se pueden utilizar como referencia en la exploración y tratamiento del aparato locomotor mandibular. Además, las posiciones se utilizan en el laboratorio dental para la orientación vertical y horizontal (ejes x, y, z) y el montaje de modelos maxilares y mandibulares en el articulador. En denticiones completas e incompletas, las posiciones comúnmente utilizadas son: posición de máxima intercuspidadación (PIM o PMI), posición de contacto retruído (PCR), oclusión de relación céntrica / relación céntrica y la posición postural o de reposo de la mandíbula. La última posición se usa específicamente en sujetos desdentados, pero también se puede aplicar en sujetos total o parcialmente edéntulos.

### **1.3.1 Posición de Máxima intercuspidadación.**

En la literatura odontológica los sinónimos más o menos frecuentes son: máxima intercuspidadación, posición máxima intercuspidadada o interdigitada, posición intercuspídea, oclusión habitual o adquirida y posición céntrica.

Los sinónimos utilizados para la posición de contacto muscular son posición muscular y posición de primer contacto.

En la posición mandibular activa y pasiva de la posición céntrica hay máxima interdigitación de las cúspides de los dientes maxilares y mandibulares. Es una posición

en la que hay un área máxima de contacto entre las superficies oclusales de los dientes opuestos, además de ser una posición de referencia óptima solo cuando los dientes posteriores están presentes con un complemento completo o casi completo de cúspides. Además, es el punto terminal rígido y reproducible de todas las elevaciones mandibulares y la posición desde donde todos los movimientos mandibulares verticales y horizontales activos y armoniosos deben partir y volver a (Gibbs et al., 1982; Mohamed, Christensen Y Harrison, 1983). La oclusión céntrica es también la posición en la que las fuerzas de mordida verticales se dirigen a lo largo o cerca de los ejes largos de los dientes (Widmalm y Ericsson, 1982).

### **1.3.2 Posición de contacto retrusivo o contacto muscular**

La posición de contacto retrusivo (PCR) o posición de contacto muscular está controlada por la actividad contráctil de los músculos elevadores mandibulares (Moller, 1966). Es la posición de referencia que se registra cuando la mandíbula se eleva activamente desde su posición de reposo postural (ver más adelante) a la del primer contacto o contactos oclusales.

Cuando la mandíbula se desliza desde la posición de contacto retruida a la de oclusión PIM, el recorrido debe ser en gran medida recto hacia adelante y hacia arriba. Esto se conoce como diapositiva simétrica. Disminuye la estabilización muscular desequilibrada de la mandíbula y se cree que previene traumatismos en las articulaciones temporomandibulares (Christensen y Slabbert, 1978).

En el plano vertical, la distancia depende de la altura de las cúspides de los dientes, normalmente de 1 a 5 mm (Christensen y Slabbert, 1978).

### **1.3.3 Relación céntrica y oclusión de relación céntrica**

Una posición de relación céntrica no está definida por una relación de contacto específica entre los dientes maxilares y mandibulares. Es una posición de borde mandibular posterior a la oclusión céntrica y sin contactos dentales oclusales. Se basa principalmente en relaciones espaciales entre los componentes de las articulaciones temporomandibulares; por ejemplo, los componentes óseos de los cóndilos, fosas articulares y tubérculos. Es una posición de borde pasiva en la que cada cóndilo

ligeramente girado, con cada disco articular interpuesto, se refuerza contra la parte superior de cada fosa articular y la cara superior anterior de cada tubérculo articular. En RC, la mandíbula puede manipularse para realizar movimientos verticales pasivos, con frecuencia también activos, alrededor de un eje terminal de bisagra, depresión y elevación de 20-25 mm. En el plano frontal, el eje de terminal de bisagra es la línea recta imaginaria que atraviesa los dos cóndilos de las articulaciones temporomandibulares cuando la mandíbula realiza movimientos rotativos puros y no de traslación. En condiciones normales, los movimientos alrededor de este eje ocurren muy raramente, si acaso alguna vez (Christensen y Slabbert, 1978).

La oclusión de relación céntrica es la posición de contacto de los dientes en relación céntrica, puede coincidir con la PIM o no. Es la posición de referencia que se registra cuando la mandíbula se eleva activa o pasivamente a la primera posición de contacto oclusal al final del movimiento del eje terminal de bisagra.

#### **1.3.4 Posición postural y dimensión vertical facial**

La posición postural de la mandíbula es la menos estable y una de las más controvertidas de las posiciones de referencia mandibulares. Los sinónimos de la posición son: posición de reposo fisiológica o tónica, relación de reposo o posición de reposo. La posición se describe mejor como la postura mandibular habitual que se asume cuando un individuo, con el cuerpo y la cabeza erguidos, relaja cómodamente la mandíbula y los músculos faciales. (Christensen y Slabbert, 1978).

La dimensión vertical facial es la distancia vertical entre dos puntos cualesquiera seleccionados arbitrariamente que están convenientemente ubicados, generalmente en la línea media. La dimensión vertical de reposo es la dimensión vertical de la cara cuando la mandíbula está en su posición postural. La dimensión vertical de la oclusión es la dimensión vertical de la cara cuando los dientes maxilares y mandibulares, o los bordes de mordida superior e inferior, están en contacto en oclusión céntrica. Un determinante significativo de esta última dimensión son las alturas clínicas de las coronas de los dientes, ya sean naturales o artificiales. La dimensión vertical oclusal se reduce cuando las coronas se acortan de forma natural o artificial; aumenta cuando las alturas de las coronas aumentan de forma natural o artificial. Una dimensión vertical reducida de la oclusión, y también aumentada, es unilateral o bilateral.

Medido por la distancia entre los incisivos maxilares y mandibulares, en posición erguida y con la cabeza erguida, el espacio es normalmente de 1 a 3 mm. Sin embargo, es común encontrar una gran variedad de variaciones sin ningún signo o síntoma de alteración de la función y salud del sistema locomotor mandibular. Debido a que la mandíbula muestra un continuo de fluctuaciones espaciales, según se registra durante un período prolongado de tiempo, la posición postural puede denominarse posición promedio. Las fluctuaciones espaciales son generadas por fuerzas contráctiles (activas) y viscoelásticas (pasivas), producidas por los músculos de la mandíbula y los tejidos blandos asociados. (Christensen y Slabbert, 1978).

La posición postural está influenciada por múltiples factores controlables e incontrolables; por ejemplo, miedo y ansiedad, dolores, posturas de la cabeza y el cuerpo, maloclusiones de los dientes y desarrollo facial, actuaciones vocales y una serie de enfermedades que involucran el sistema locomotor mandibular. Por otro lado, los mecanismos básicos de la posición, sobre los que pueden jugar una multitud de factores, se pueden resumir convenientemente como la tensión pasiva de los músculos de la mandíbula y los tejidos blandos asociados, la tensión activa de los músculos de la mandíbula y la tensión intra-maxilar, presiones hidrostáticas orales.

#### **1.4. POSTURA CORPORAL Y OCLUSIÓN DENTAL**

La relación entre la oclusión dental y la postura corporal es un tema discutido en odontología. Una descripción del conocimiento disponible sobre la fisiología de la relación postura corporal-oclusión dental es fundamental para discutir las posibles implicaciones diagnósticas y terapéuticas de la evaluación de la postura corporal en sujetos con anomalías oclusales.

El sistema estomatognático es una unidad funcional compleja compuesta por varias estructuras, es decir, huesos, articulaciones, ligamentos, dientes y músculos, perfectamente coordinados por un control nervioso detallado (Wakano et al., 2011). La actividad y los movimientos de la mandíbula se ven afectados por varias de estas estructuras las cuales entregan continuamente información a través del sistema nervioso central (Wakano et al., 2011). Por lo tanto, la posición de la mandíbula está determinada por la propiocepción de la articulación temporomandibular (ATM), los músculos masticatorios y los dientes (ligamento periodontal). Además, la

retroalimentación de los presorreceptores periodontales también puede proporcionar un control oclusal periférico de los músculos elevadores mandibulares. En este sentido, se han observado varios rasgos derivados de las maloclusiones que provocan cambios en el patrón muscular (Wakano et al., 2011).

También, algunos trastornos a nivel craneal y cervical se ven asociados a la posición mandibular, así como algunas alteraciones del equilibrio corporal. Sin embargo, la relación entre la oclusión dental y la postura corporal sigue siendo un tema controvertido en odontología.

El control postural se define como la contribución de diferentes partes sensoriales y motores, es decir, los sistemas visual, vestibular y propioceptivo. Para un buen mantenimiento del equilibrio, se requiere una adecuada interacción de estos tres sistemas sensoriales. En personas ciegas, se produce una intensificación de los sistemas restantes (vestibular y propioceptivo) en un intento por mantener la estabilidad. Por lo tanto, los dominios de percepción no visuales pueden desarrollarse más en personas ciegas que en personas videntes. Además, la referencia visual se considera un factor clave para establecer y mantener la posición natural de la cabeza. Esta posición de la cabeza en relación con la columna cervical es el resultado de la integración en el sistema nervioso central de diferentes elementos externos y entradas internas (es decir, receptores visuales, cutáneos, musculotendinosos y vestibulares). En consecuencia, en ausencia de información visual, la postura craneal y corporal tiende a adoptar cambios, como un aumento de la flexión craneal en comparación con las personas videntes (Wakano et al., 2011).

También se conocen alteraciones de la postura natural de la cabeza en personas con dificultad para la respiración nasal, una condición patológica en la que los sujetos muestran una mayor extensión de la cabeza debido a la presencia de una angulación craneocervical agrandada y una inclinación hacia adelante de la columna cervical. Es muy probable que se adopte esta posición de la cabeza para facilitar la respiración oral con el fin de compensar la obstrucción nasal y aumentar la dimensión de la vía aérea (Chambi-Rocha, Cabrera y Dominguez, 2017).

Además, la morfología craneofacial puede afectar la posición craneocervical. Los primeros estudios de Gresham y Smithells (1954) sugieren que existe una relación entre la morfología craneofacial y la postura cervical. Constataron que un desplazamiento

anterior de la cabeza provoca una pérdida de la visión de campo, que se compensa con un aumento de la lordosis cervical. Además, la postura del cuello parece estar asociada con la estructura sagital y vertical de la cara.

En los últimos años, la contribución del sistema estomatognático al equilibrio postural se ha convertido en un interesante tema de estudio, centrándose no solo en la oclusión dentaria sino también en las estructuras asociadas (huesos, articulaciones, ligamentos, dientes y músculos, todos ellos coordinados por un complejo control nervioso). Una descripción de los posibles mecanismos por los cuales la oclusión dental influye en el equilibrio corporal es fundamental para comprender la base de esta relación. La mayor parte de la investigación que evalúa la influencia del sistema estomatognático en el equilibrio corporal se ha centrado en la propiocepción que se origina en los presorreceptores periodontales, por lo que se evalúa el control del equilibrio principalmente comparándolo con y sin contacto dental (Julià-Sánchez, 2018).

Sin embargo, la posición de la mandíbula también está determinada por la propiocepción de la ATM y los músculos masticatorios. Además, la contribución de la información sensorial para el control del equilibrio es diferente dependiendo de las limitaciones ambientales. Es evidente que existe una falta de conocimiento sobre la diferente contribución de la oclusión dental en el equilibrio corporal en una visión más integral (Julià-Sánchez, 2018).

#### **1.4.1 Fisiología de la relación entre oclusión dental y postura corporal**

Las relaciones biomecánicas y neurológicas del sistema estomatognático con otras zonas corporales se han abordado en los últimos años por parte de algunas investigaciones (Van Spitzjker, 2011; Wakano, 2011). Las revisiones de la literatura disponible sugieren que existe una doble necesidad de mejorar la calidad metodológica de las investigaciones, así como de abordar cuestiones clínicas más específicas (Armijo et al., 2006; Michelotti y Farella, 2010; Manfredini et al. 2012). En la actualidad, los datos de la literatura se basan principalmente en los efectos de la oclusión dental en la postura de la cabeza y el cuerpo, mientras que se dispone de muy poca información sobre los efectos inversos de la postura en la oclusión dental. Algunas características oclusales

relacionadas con las maloclusiones esqueléticas macroscópicas probablemente requieran una adaptación postural en sectores musculoesqueléticos cercanos y remotos; Por lo tanto, debería ser interesante conocer mejor la relación de algunas asimetrías dentales como el retrognatismo severo, prognatismo pronunciado, asimetría facial, con adaptación postural a nivel de la columna cervical, así como equilibrio postural y zona de apoyo de los pies.

En lo que respecta a la relación entre las maloclusiones y la postura de la cabeza, se ha descrito una relación entre las maloclusiones esqueléticas de clase II, es decir, la posición mandibular retraída con la longitud mandibular reducida en el plano sagital, y la lordosis cervical aumentada (Korbmacher, 2004). Además el grado de lordosis cervical está asociado con la morfología craneofacial vertical y el resalte anterior, teniendo la clase II esquelética una postura de cabeza y cuerpo más anterior y la clase III una posición más posterior (Solow, 1998). En realidad, hasta ahora ninguna investigación ha controlado el efecto de la edad como posible factor de confusión. Tal deficiencia adquiere importancia a la luz de los hallazgos de que la edad es el principal factor que influye en el grado de lordosis cervical, teniendo las dos variables una relación proporcional directa, es decir, la lordosis aumenta con la edad (Doual, Ferri y Laude, 1997)

En cuanto a la influencia de las anomalías de la oclusión dental en otras regiones musculoesqueléticas a distancia, se ha planteado la hipótesis de que la postura de la mandíbula puede influir en los músculos distales y provocar adaptaciones posturales a nivel de la médula espinal. Entre los factores oclusales que potencialmente influyen en la curva y la morfología de la columna, el papel de la mordida cruzada unilateral se ha investigado en la literatura como factor de riesgo para el crecimiento asimétrico de la mandíbula y la actividad muscular (Alarcón, 2000; Kilic, Kiki y Oktay, 2008). En realidad, a pesar de las bien conocidas indicaciones de ortodoncia para corregir la mordida cruzada unilateral en la edad pediátrica (Papadoupulos y Gkiaouris, 2007), falta evidencia de que la mordida cruzada no tratada pueda conducir al inicio y / o empeoramiento de la asimetría transversal patológica en la columna dorsal o lumbar. El tratamiento de ortodoncia de la mordida cruzada unilateral es posible que no influya, ni positiva ni negativamente, en la escoliosis, que es la patología de la columna más frecuentemente investigada en odontología. De hecho, la escoliosis tiene una etología

idiopática desconocida en aproximadamente el 90% de los casos (Burwell, 2008; Wang et al., 2011).

Son varias las preocupaciones que impiden sacar conclusiones sobre la fisiopatología de la relación entre oclusión y postura y su impacto clínico; entre estos, la necesidad de encontrar dispositivos de medición apropiados y la falta de asociaciones importantes entre cualquier característica oclusal y / o postural.

En cuanto a la medición de las características oclusales y posturales, a lo largo de los años se han propuesto varias técnicas (por ejemplo, electromiografía, Kinesiología, y diferentes instrumentos) para evaluar diversas variables neuromusculares que puedan estar relacionadas con la oclusión dentaria y corporal. A pesar de los esfuerzos realizados en el ámbito de la investigación para evaluar y mejorar la confiabilidad de esos dispositivos instrumentales para el estudio del sistema estomatognático y la relación con la postura (Castroflorio et al., 2005; Leitner et al., 2009), su aplicación clínica es limitada debido a la ausencia de valores normativos controlados por edad, sexo, peso, talla y morfología facial y al desconocimiento de la validez de dichas técnicas

Las interconexiones entre la oclusión dental y la postura corporal se han evaluado examinando la postura corporal cuando los sujetos aprietan la mandíbula en diferentes posiciones y con diferente distribución de la fuerza oclusal. Si bien la actividad máxima de los músculos elevadores ocurre durante el apriete en la máxima intercuspidadación, en relación céntrica existe una disminución de la actividad de los músculos masticatorios y cervicales (Ceneviz, Mehta y Forgione, 2006).

#### **1.4.2 La importancia del ambiente externo en la relación entre la oclusión dental y el equilibrio corporal**

La integración de las diferentes fuentes de información sensorial implicadas en el proceso de control postural parece estar regulada dinámicamente para adaptarse a las condiciones ambientales cambiantes, un fenómeno conocido como "reponderación sensorial" (Nashner y Berthoz, 1978) de modo que la retroalimentación general de las fuentes sensoriales permanece se reprograma constantemente para estabilizar la

postura erguida.(Hwang et al., 2014) Al analizar la influencia de la oclusión dental en la postura corporal, algunos autores aceptan que la oclusión dental influye en el proceso de control del equilibrio en ausencia de señales visuales sensoriales (Baldini et al., 2013). Además, la importancia de las contribuciones de los sistemas sensoriales depende de la población estudiada, las limitaciones ambientales y la tarea que se realiza. Un cambio de peso en un sistema sensorial es compensado por cambios en los pesos de otros sistemas sensoriales. Por tanto, la que se le da a una entrada sensorial particular es diferente dependiendo de la información que se obtenga del resto de entradas, lo que obliga al sistema nervioso a depender más de otras fuentes sensoriales para estabilizar la postura erguida (Hwang et al., 2014).

Así, la información somatosensorial que se recibe por la propiocepción del pie, parece ser la principal fuente de señales aferentes cuando se estabiliza sobre una base de apoyo firme, mientras que la información de los sistemas visual y vestibular aumenta sobre una superficie de apoyo inestable (Hwang et al., 2014). Esta evidencia sugiere una mayor contribución de otras fuentes de información sensorial cuando existen condiciones más difíciles para el control del equilibrio.

Muchos estudios que analizan la influencia hipotética de la oclusión dental en el control del equilibrio han evaluado parámetros posturográficos en condiciones estáticas, reportando conclusiones contradictorias a favor (Sakaguchi, Mehta y Abdallah, 2007; Bracco, Deregibus y Piscetta, 2004) o en contra (Perinetti et al., 2012) de que la oclusión tenga un efecto sobre el equilibrio corporal. Muchos de estos trabajos han evaluado la postura corporal mediante plataformas estabilométricas de presión, metodología de la cual se ha discutido la idoneidad. De hecho, se han expresado algunas críticas sobre la sensibilidad de las plataformas de presión para detectar las relaciones entre la oclusión dental y la postura corporal, ya que solo algunos parámetros que mide (el área de balanceo y la velocidad) muestran una fiabilidad aceptables. (Perinetti et al., 2012)

Varias investigaciones han planteado una nueva pregunta argumentando que la oclusión dental afecta de manera diferente al control postural dependiendo de las condiciones estáticas o dinámicas, lo que indica que la influencia de la oclusión dental solo se vuelve efectiva durante las tareas posturales dinámicas, con una importancia creciente a medida que el resto sensorial las señales se vuelven escasas, es decir, los ojos cerrados. Algunos autores sugieren que las perturbaciones oclusales podrían

modificar las entradas sensoriales para el control del equilibrio en personas con maloclusión dental. (Julià - Sánchez et al., 2016) En su trabajo, observaron que la influencia de la oclusión dental en el equilibrio se fortalece en una plataforma inestable, por lo que concluyen que las señales aferentes de la oclusión dental pueden contribuir de manera más efectiva al control del equilibrio con condiciones de inestabilidad más pronunciadas.

También se ha descrito una interacción entre la oclusión dental y las alteraciones externas en la capacidad de equilibrio utilizando posturografía dinámica (sistema EquiTest, plataforma podológica que genera movimientos en rangos variables y registra la respuesta de los sujetos) (Hosoda, Masuda e Isozaki, 2007).



*Figura 7. Equitest System. Plataforma podológica que genera movimiento en rango variable y registra la respuesta de los sujetos.*

En este sentido, algunas investigaciones sugieren que alterar la oclusión dental mediante el uso de un aparato de reposicionamiento ortopédico mandibular podría inducir alguna fluctuación en el equilibrio (Hosoda, Masuda e Isozaki, 2007).

Baldini et al. (2013) evaluaron la influencia de la posición mandibular en la estabilidad postural también utilizando EquiTest con la adición de realizar una prueba de

organización sensorial. Sin embargo, los resultados contrastan con los reportados por Hosoda et al. (2007). Estos autores concluyeron que este método probablemente no sea sensible al analizar la influencia del sistema estomatognático en el equilibrio postural. También se ha sugerido que la influencia de la oclusión dental en el control del equilibrio se hace más fuerte en condiciones de fatiga, lo que indica que incluso cuando hay fatiga muscular, la oclusión dental en PIM permite un mejor equilibrio corporal. Esto refuerza la hipótesis de que la información sensorial ligada a la oclusión dentaria para el control del equilibrio se vuelve especialmente importante cuando se presentan condiciones más difíciles, es decir, condición inestable como fatiga (Juliá-Sanches, 2016). Esto también sucede cuando existe alguna perturbación externa, por ejemplo, estimulación eléctrica de un miembro inferior unilateral.

Estos estudios destacan un proceso de reponderación sensorial en presencia de alteraciones externas, agregando peso a las aferencias de la oclusión dental para el control del equilibrio.

### **1.4.3 Maloclusión y postura de la cabeza**

Varios estudios utilizaron radiografías cefalométricas laterales para analizar la relación entre la postura de la cabeza y el cuello, la posición de las vértebras cervicales en el plano sagital y la maloclusión mediante líneas y planos de referencia ortopédicos (Korbmacher, 2004; Solow y Sadham, 1998).

Aunque utilizando diferentes métodos y análisis, la mayoría de los estudios encuentran una relación significativa entre la posición distal de la mandíbula, la longitud sagital de la mandíbula y el aumento de la lordosis cervical (Korbmacher, 2004; Solow y Sadham, 1998). De hecho, los niños con clase esquelética II mostraron una extensión significativamente mayor de la cabeza sobre la columna vertebral en comparación con los niños con clase esquelética I y clase III. Recientemente también se encontró una relación entre la lordosis cervical y la divergencia mandibular (es decir, morfología craneofacial vertical) (Lippold et al., 2006). Gadotti et al. (2005)., analizaron la postura de la cabeza y la actividad electromiográfica (EMG) de la porción anterior de los músculos temporal y masetero bilateralmente entre sujetos con diferente oclusión dentaria clasificados según el ángulo. Los resultados indicaron que las respuestas EMG de los músculos temporal y masetero tienden a ser modificadas en sujetos de Clase II de

Angle que presentan con mayor frecuencia la ocurrencia de la postura de la cabeza hacia adelante. Asimismo, Nobili et al. (1996) estudiaron esta relación en un grupo de 50 pacientes pertenecientes a todas las maloclusiones de Angle. En este, que fue diseñado como una serie de casos y carecía de un grupo de control emparejado, se pidió a los sujetos que se subiesen a la plataforma estabilométrica y que realizaran cinco pruebas diferentes. Los autores concluyeron que los sujetos con maloclusión de Clase II exhibían una posición del cuerpo hacia adelante, mientras que la posición del cuerpo en sujetos con maloclusión de Clase III estaba desplazada más posterior. Solow & Sandham (2002) dieron una posible explicación causal para esta asociación, que utilizaron el término “estiramiento de tejidos blandos”: las diferencias en la morfología craneofacial podrían explicarse por el estiramiento de la capa de tejido blando de la piel cuando la cabeza está inclinada hacia atrás. El aumento del nivel de fuerza restringiría el crecimiento hacia adelante del maxilar y la mandíbula.

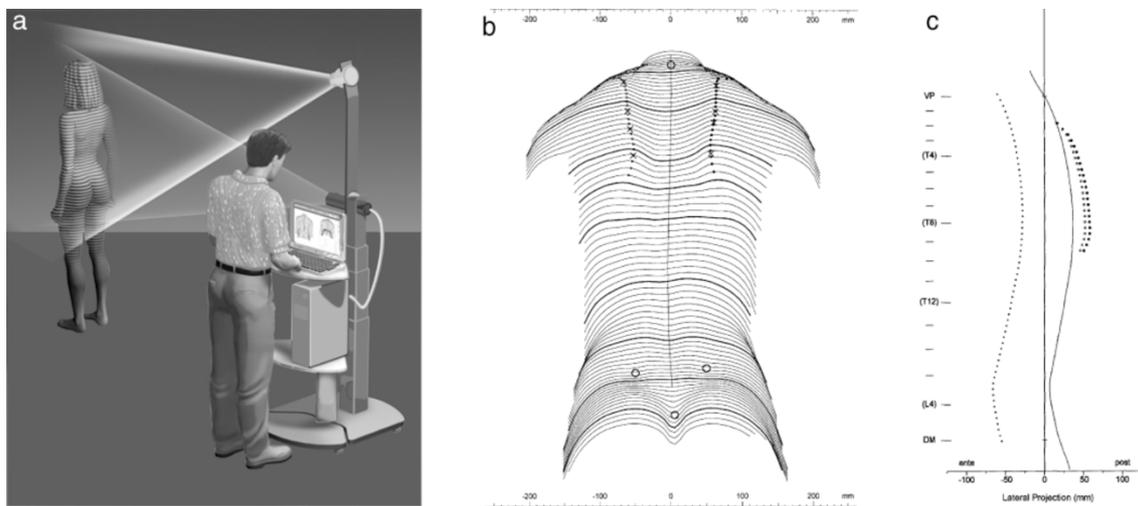
Tampoco se han establecido claramente las relaciones de causa-efecto entre la forma craneofacial y la postura de la cabeza. Según la teoría del “estiramiento de los tejidos blandos” (Gadotti, Berzin y Biastto-Gonzalez, 2005), las variaciones en la postura de la cabeza pueden ser la causa más que las consecuencias de una maloclusión. De hecho, cuando la cabeza se dobla hacia atrás, la capa de tejido blando de la piel se estira y las fuerzas resultantes restringirían el crecimiento hacia adelante del maxilar y la mandíbula. Por tanto, la sugerencia de tratar las maloclusiones, especialmente en adultos, para corregir la postura de la cabeza no tendría sentido. Curiosamente, un estudio analizó los cambios en la postura en reposo de la cabeza y el cuello en pacientes afectados con maloclusiones esqueléticas severas antes y después de someterse a cirugía ortognática con un seguimiento de un año. Los hallazgos de este estudio indicaron que a largo plazo la postura de la cabeza y el cuello no cambió significativamente en ningún grupo de maloclusión (Phillips et al., 2001).

#### **1.4.4 Maloclusión y curvaturas de la columna.**

También se ha evaluado la relación entre la maloclusión, las curvaturas de la columna y las inclinaciones torácicas, lumbares y pélvicas, con varios estudios que apoyan una relación significativa (Lippold et al., 2006; Phillips et al., 2001; Festa et al., 2003). Estos

trabajos explican esta asociación afirmando que una posición y contacto alterados de los dientes maxilares y mandibulares tiene influencia en la musculatura distal.

Una serie de estudios en humanos analizaron las relaciones entre la inclinación cifótica, el ángulo lordótico y la inclinación pélvica (Lippold et al., 2006), y la postura corporal en el perfil frontal y la morfología craneofacial en pacientes adultos sanos con diferentes parámetros oclusales. Se midieron seis ángulos del esqueleto (eje facial, ángulo del plano mandibular, ángulo gonial interno, altura facial inferior, profundidad facial y posición del maxilar) basándose en el análisis de cefalógrafos laterales de la cabeza. Se utilizó un método conocido como rasterestereografía para la reconstrucción precisa del perfil sagital de la espalda mediante fotogrametría.



*Figura 8. A) Imagen de Rasterestereografía: sistema de medición basado en fotogrametría. B) Reconstrucción rastereográfica de la espalda de un paciente. C) Proyección lateral de la línea media espinal basado en la reconstrucción tridimensional de la superficie. (Lippold et al., 2006)*

Se encontró una relación entre los parámetros craneofaciales y la inclinación torácica, lordótica y pélvica, por lo que sugieren que existe alguna evidencia clínica de una relación entre la posición vertical y sagital de la mandíbula inferior y la postura corporal sagital. No obstante, en otro estudio y con la misma muestra, pero a partir de distintas medidas, se encontró relación entre la posición de la mandíbula y la postura corporal en la parte superior de la columna pero se descartó cualquier conexión con la parte inferior de la columna (Lippold et al, 2006, 2007).

La escoliosis es la patología ortopédica que se investiga con mayor frecuencia de forma interdisciplinaria. Se caracteriza por asimetrías izquierda-derecha en el plano transversal que podrían estar indirectamente relacionadas con algunas formas leves de asimetría facial o desviaciones dentarias en la dimensión transversal (Huggare, 1991). La escoliosis idiopática es una condición ortopédica caracterizada por una postura defectuosa; es una desviación lateral progresiva de la columna, que a menudo se revela en la niñez y empeora durante el crecimiento. Se desconoce la etiología, pero se mencionan factores genéticos e interactúan factores hormonales, neurológicos, bioquímicos y posiblemente biomecánicos (Burwell, 2004).

La maloclusión que tiene el mayor potencial de influir en la escoliosis y la longitud de la pierna es la mordida cruzada posterior unilateral. Ésta es una de las maloclusiones más frecuentes en dentición decidua y mixta temprana, con una prevalencia del 7% al 23%. Una mordida cruzada posterior unilateral tiene un fuerte impacto en el correcto funcionamiento del sistema masticatorio (Alarcón, 2000). En las primeras etapas, las mordidas cruzadas se asocian con un desplazamiento funcional lateral de la mandíbula en aproximadamente el 80% de los casos y pueden inducir un crecimiento mandibular asimétrico. Se ha descrito que el desplazamiento funcional de la mandíbula durante un período prolongado suprime o activa el crecimiento mandibular, especialmente en la región condilar (McNamara, 1975). En consecuencia, una mandíbula colocada asimétricamente en un paciente con mordida cruzada unilateral puede llevar a alturas condilares asimétricas. Kilic et al. (2008) investigaron las asimetrías condilares y ramales en pacientes con mordida cruzada unilateral en comparación con sujetos normoclusivos. Los pacientes con mordida cruzada posterior unilateral tenían cóndilos más asimétricos que los sujetos del grupo control. Además, las alturas condilares, ramal y condilar más ramal en el lado de la mordida cruzada fueron menores que las del lado sin mordida cruzada. Los resultados de estudios experimentales con animales también sugieren que las alteraciones en la oclusión provocan cambios en el crecimiento condilar, así como en muchas otras regiones del cuerpo. Sato et al. (2006) estudiaron los efectos de un desplazamiento funcional lateral de la mandíbula de la rata sobre el cartílago condilar durante el período de crecimiento. Las ratas se dividieron inicialmente en tres grupos: casos, recuperación y control. Aplicaron sobre los incisivos superiores de las ratas un dispositivo de resina fotopolimerizable, generando una desviación de 2mm de la

mandíbula hacia el lado izquierdo, llamado lado ipsilateral, y la articulación derecha se consideraría la del lado contralateral. Para el grupo de recuperación, el dispositivo se retiró después de 2 semanas. Para el grupo de casos, el aparato se utilizó durante 4 semanas. Los resultados mostraron que en el grupo de desplazamiento el grosor del cartílago aumentó en la región central del lado contralateral, mientras que disminuyó en la región lateral del lado ipsilateral. Sin embargo, en el grupo de recuperación, de 1 a 2 semanas después de la extracción del aparato, el grosor del cartílago se volvió similar al de los grupos de control.

Algunos estudios han observado una prevalencia significativamente elevada de mordida cruzada unilateral en pacientes que padecían escoliosis. Huggare et al. (1991) encontraron un aumento del ángulo craneocervical, particularmente en la vista frontal, y un desplazamiento de la línea media del arco dentario inferior en sujetos tratados por escoliosis. Ben-Bassat et al. (2006) examinaron clínicamente las oclusiones de 96 pacientes con escoliosis idiopática y las características oclusales de un grupo aleatorio de 705 niños como control. Se encontró una mayor prevalencia de maloclusión asimétrica (en desviaciones de la línea media superior e inferior, mordidas cruzadas anterior y posterior) en niños afectados de escoliosis. No se encontró asociación entre lado de la maloclusión dental, y el lado o la gravedad de la escoliosis.

Se ha planteado la hipótesis de que la mordida cruzada es una compensación en el cráneo visceral de la transmisión de la asimetría del cuerpo al cráneo. De acuerdo con la hipótesis de que la oclusión dental puede influir en la postura de todo el cuerpo, los trastornos del funcionamiento, como masticar y tragar, de los músculos masticatorios pueden transmitirse a la musculatura distal a lo largo de las llamadas “cadenas musculares”. También se ha sugerido que esta cadena etiológica de acontecimientos puede revertirse. Por lo tanto, diferencias estructurales como son la longitud de las piernas puede considerarse un factor de riesgo de un trastorno masticatorio (Chinappi y Getzoff, 1995).

Michelotti et al. (2007) investigaron la posible asociación entre la desigualdad en la longitud de las piernas y la mordida cruzada posterior en una gran muestra de adolescentes jóvenes reclutados en escuelas de educación secundaria. Todos los sujetos se sometieron a un examen de ortodoncia. En total, se seleccionaron 1159 sujetos y se sometieron a un examen de ortodoncia y ortopedia. La desigualdad en la longitud de las

piernas se evaluó mediante un dispositivo especialmente diseñado. Una diferencia igual o superior a 10 mm entre la longitud de las piernas se consideró como el umbral clínicamente relevante para este diagnóstico. En total, 120 sujetos (10,3%) fueron diagnosticados de asimetría en la longitud de las piernas. Se encontró una mordida cruzada posterior unilateral en 142 de los 1159 sujetos (12,2%). Los hallazgos concluyeron que, en adolescentes jóvenes, una mordida cruzada posterior unilateral no es un factor de riesgo para este padecimiento.

En conclusión, la maloclusión transversal, p. ej. La mordida cruzada posterior unilateral conlleva un crecimiento asimétrico de la mandíbula y una actividad muscular asimétrica. Algunas intervenciones tempranas, como la ortopedia dentofacial pueden corregir la deformidad esquelética, logrando un crecimiento simétrico de los huesos de la mandíbula. Sin embargo, aunque exista una alta prevalencia de mordida cruzada en pacientes con alteración de la curvatura de la columna en el plano frontal, hay poca evidencia de la relación causa-efecto (Michelotti et al., 2007). Es bien sabido que la maloclusión tiene una etiología multifactorial y que varios factores, como el modo de respiración, la tonicidad muscular, la genética y los hábitos bucales juegan un papel importante en la patogénesis. Por lo tanto, un enfoque de tratamiento debe tener en cuenta todos los factores en la planificación.

#### **1.4.5 Maloclusión y balanceo corporal**

La posible asociación entre maloclusión y alteraciones posturales en términos de balanceo corporal también ha sido un tema de debate.

Estudios recientes enfatizan el papel potencial de la posición mandibular (Bracco, Dereguibus y Piscetta, 2004; Gangloff, Louis y Perrin, 2000) en el mantenimiento del control postural. Dado que la postura y la función mandibulares están determinadas por la posición de los dientes, se ha considerado que diferentes oclusiones dentales influyen potencialmente en la postura corporal. Bracco et al. (2004) encontraron que, en sujetos con oclusión normal, las diferentes relaciones mandibulares influyen en la postura corporal. Gangloff et al. (2000) evaluaron el control postural manteniendo la mandíbula en cuatro posiciones diferentes impuestas por férulas interoclusales. El control postural y la estabilización de la mirada disminuyeron, de mejor a peor, con férulas en relación céntrica, posición intercuspal y oclusión lateral, respectivamente. En particular, la

denominada posición miocéntrica, provocó una reducción del balanceo del cuerpo y una mejora en la distribución del peso en la zona del pie. Bracco, verificó la posición oclusal miocéntrica, también denominada posición oclusal estimulada neuromuscularmente. La trayectoria neuromuscular o miocéntrica se induce con el TENS desde una posición de reposo hacia una posición terapéutica de contacto terminal y por una vía de cierre isotónico inducida por la estimulación eléctrica de los nervios facial y trigémino. A efectos prácticos, la posición miocéntrica se podría encontrar en un punto a lo largo de la trayectoria neuromuscular situado entre 1-2 mm. del cierre vertical desde la posición de reposo fisiológico.

Además, se ha demostrado que las aferencias del trigémino influyen en la postura en un estudio donde la anestesia de su rama mandibular modificó el control postural en sujetos humanos (Gangloff, 2002). Sin embargo, solo se han encontrado relaciones estadísticamente significativas en algunos de los análisis realizados en estos estudios.

La asociación entre la mordida cruzada posterior y el balanceo corporal se ha investigado en un estudio epidemiológico publicado por Michelotti et al. (2007). Entre 1291 estudiantes, se seleccionaron veintiséis sujetos (14 hombres y 12 mujeres) afectados con mordida cruzada posterior unilateral con y sin desviación lateral mandibular y se compararon con 52 controles con una "oclusión ideal". La estabilidad postural se evaluó mediante una plataforma estabilométrica. La distribución del peso en el área del pie y la velocidad de balanceo del cuerpo no se vieron significativamente influenciadas por la mordida cruzada (con y sin desviación mandibular lateral), aunque variasen las condiciones oclusales (con la interposición de rollos de algodón entre los dientes) y el género. Por lo tanto, los resultados no apoyan la hipótesis de que la mordida cruzada posterior tenga algún efecto sobre la distribución del peso en el área del pie y sobre la velocidad de balanceo del cuerpo. Estos hallazgos no son consistentes con la llamada teoría de la cadena muscular, según la cual los contactos oclusales anormales pueden causar "desequilibrios" en el aparato locomotor que resultan en asimetrías posturales. Estos datos entran en conflicto con la creencia común de muchos odontólogos y médicos, que recomiendan el tratamiento dental o de ortodoncia para la corrección de una mordida cruzada posterior unilateral para prevenir o tratar los llamados "desequilibrios posturales". En estos casos, la decisión de tratamiento se basa principalmente en informes anecdóticos o de casos más que en evidencia científica.

Los estudios nombrados utilizaron la posturografía para detectar la relación entre la postura corporal y el sistema estomatognático. Una revisión reciente ha proporcionado información sobre la relevancia de la posturografía como ayuda diagnóstica en odontología. Los autores concluyeron que la posturografía tiene poca relevancia en el seguimiento de las respuestas corporales a cambios en el sistema estomatognático, con una gran tasa de fallas debido a la gran variabilidad de los registros (Perinetti, 2009).

Por lo tanto, parece necesario realizar estudios bien diseñados para respaldar la toma de decisiones clínicas. Se debe enfatizar que la relación potencial entre la oclusión y la postura tiene una baja plausibilidad biológica ya que en sujetos sanos (es decir, libres de actividades parafuncionales) los dientes entran en contacto por un período de tiempo muy limitado (es decir, actividades de masticación y deglución), que no suele superar los 20-30 min al día. Con base en estas observaciones, los profesionales deben ser cautelosos al recomendar un tratamiento de ortodoncia o dental temprano en pacientes con mordida cruzada posterior unilateral con el objetivo únicamente de prevenir o tratar los trastornos posturales.

### **1.5. POSTURA CORPORAL Y POSICIÓN MANDIBULAR**

Históricamente, los cambios de postura con diferentes posiciones mandibulares se han investigado ampliamente (Ceneviz, Mehta y Forgione, 2006). En su revisión narrativa, Cuccia y Caradonna (2009) concluyeron que el control de la cabeza y la posición del cuerpo pueden verse afectados en presencia de alteraciones en la información propioceptiva del Sistema estomatognático. De manera similar, Moon y Lee (2011) describió una conexión funcional entre la oclusión dental y todo el cuerpo, explicada por la teoría de la conexión facial. Por el contrario, Michelotti et al. (2007) concluyeron que, aunque el sistema estomatognático puede afectar la función de la región cervical, no hay suficiente evidencia científica para apoyar una relación causa-efecto.

Perinetti y cols. (2009) consideran que se puede detectar una relación biológica, pero no clínica, entre el sistema estomatognático y la postura de cuerpo entero, al menos experimentalmente. Este grupo también critica la relevancia de la posturografía en el monitoreo de la postura corporal. En este sentido, en su revisión narrativa, Manfredini

et al. (2012) señalaron que no se puede detectar una asociación consistente entre la oclusión dental y la postura corporal con las técnicas posturográficas disponibles.

Hay publicaciones en la literatura que sugieren la influencia recíproca entre la postura corporal y la posición mandibular (Sakaguchi, Mehta y Abdallah, 2007). La posición mandibular de relación céntrica se ha relacionado con un mejor control postural tanto en el equilibrio estático como en el dinámico. (Tardieu et al., 2009) Esto podría atribuirse a una contracción muscular más simétrica que, a su vez, daría como resultado un menor balanceo corporal como observó Sforza et al. (2006) al colocar una férula oclusal correctamente equilibrada. También Bracco et al. (2004) consideran que existe una mejora en el equilibrio postural en el plano frontal en la posición oclusal miocéntrica, determinada por la contracción de los músculos, al comparar con la posición intercuspídea y la posición en reposo, determinada por la posición de las articulaciones. Por el contrario, varios investigadores no encontraron influencia de los cambios en la posición mandibular en el equilibrio (Perinetti et al., 2006) o solo efectos débiles en el parámetro del área de balanceo. Ferrario et al. (1996) estudiaron las modificaciones de la posición del centro de presión del pie en relación con la posición de reposo mandibular, oclusión céntrica, apriete máximo, oclusión en dos rollos de algodón y apriete máximo en dos rollos de algodón). Concluyeron que las modificaciones del centro de presión de los pies no fueron influenciadas ni por una asimetría mandibular ni por diferentes posiciones dentarias. Esta ausencia de relación entre la postura corporal y las diferentes posiciones mandibulares no la encontraron ni en sujetos sanos ni en sujetos con maloclusión.

Si bien la mayor parte de la literatura evalúa la influencia de la posición de la mandíbula en el equilibrio, hay menos investigaciones que se centran en el impacto de las características oclusales en el equilibrio y las alteraciones a nivel de la cabeza y la columna. Julià-Sánchez et al. (2016) describen algunas características oclusales específicas que pueden influir en el equilibrio corporal: clase de Angle, apiñamiento, desviación de la línea media, mordida cruzada, mordida abierta anterior y resalte. Algunas de estas características se relacionaron con alteraciones a nivel de la cabeza y la columna: La clase de Angle parece estar relacionada con la postura de la cabeza, la lordosis cervical y la escoliosis. Lippold et al. (2006) describieron y lo relacionaron también con postura corporal débil y parece ser un patrón maloclusal en niños afectados

por escoliosis idiopática; el apiñamiento dentario anterior se ha asociado con una postura craneocervical extendida; Una revisión de Saccucci et al. (2011) destaca las asociaciones entre varios tipos de maloclusión dental y escoliosis en niños, específicamente con maloclusión unilateral Angle Clase II, mordida cruzada lateral y desviación de la línea media, reforzando así la relación entre oclusión dental y alteraciones a nivel de la columna.

D'Attilio et al. (2005) realizaron un estudio experimental en ratas, en el que detectaron una curva escoliótica como consecuencia de una maloclusión dental inducida. Además, la columna vertebral volvió a su condición normal en el 83% de las ratas cuando se restauró el equilibrio en la función oclusal, lo que abogan por la influencia de la oclusión dental en la alineación de la columna vertebral. Además, algunas investigaciones sugieren una asociación entre un desequilibrio de la oclusión inducido experimentalmente y las alteraciones de la carga postural en los pies durante la marcha. Por el contrario, Marini et al (2013) demostraron que una interferencia oclusal experimental hecha con una restauración en ionómero de vidrio de 0 a 2 mm de espesor no influyó en la postura corporal, sólo provocando un aumento transitorio de la actividad de los músculos masticatorios.

## **1.6. METODOS DE EVALUACIÓN DE POSTURAL CORPORAL**

El uso de instrumentos para medir objetivamente un parámetro clínico de manera objetiva es una idea fascinante, ya que cualquier fuente potencial de sesgo diagnóstico puede conducir a consecuencias fatales.

En la práctica, para ser útil en un entorno clínico, un instrumento debe tener validez tanto interna como externa. La validez interna se deriva de aquellos factores que determinan la repetibilidad y la eficacia técnica, mientras que la validez externa depende de la precisión del instrumento para medir el principal marcador patológico (es decir, el poder de reconocer la enfermedad frente a la ausencia de enfermedad). (Ribeiro-Rotta et al., 2011).

Este razonamiento debe hacerse para definir la utilidad clínica de los instrumentos utilizados en la evaluación de la postura corporal, como electromiografía de superficie sEMG, Kinesiografía KG y las plataformas estabilométricas posturales, de las que se desconoce su validez interna. Varios autores han mostrado que estas técnicas tienen

una baja precisión para discriminar entre pacientes con sintomatología y sujetos asintomáticos (Manfredini, 2011). Su adopción como herramientas de diagnóstico o incluso de planificación del tratamiento de estos pacientes no puede justificarse debido a un porcentaje demasiado alto de falsos positivos, que puede ser de hasta el 80% para varios parámetros (por ejemplo, valores de sEMG en reposo, todos los parámetros kinesiográficos y los que mide la plataforma estabilométrica) (Manfredini, 2010).

A pesar de tales deficiencias, algunos parámetros determinados, como los niveles máximos de contracción de la sEMG pueden encontrar una aplicación prometedora en el entorno clínico. De hecho, según el modelo de adaptación al dolor y su integración (Manfredini, 2011), el dolor afecta negativamente al reclutamiento de las unidades motoras y provoca una reducción de la fuerza muscular máxima con respecto al funcionamiento fisiológico normal. Los enfoques estandarizados bajo condiciones experimentales controladas permiten registrar mediciones confiables y repetibles (Castroflorio, 2008), con valores aceptables de sensibilidad y especificidad para los valores de sEMG durante el apriete máximo (Manfredini, 2011). La sEMG estandarizada en entornos de laboratorio mostró una sensibilidad del 86% y una especificidad del 92% para discriminar entre pacientes con problemas oclusales y aquellos con dolor de cuello. Además, algunos índices de funcionamiento muscular basados en sEMG (por ejemplo, índice de torque muscular) pueden tener una precisión aceptable para reconocer a pacientes con diferentes diagnósticos de problemas oclusales /posturales (Dworkin 1992), pero no pueden identificar sujetos asintomáticos (Manfredini, 2011). En vista de lo anterior, se puede sugerir que incluso los dispositivos EMG adoptados en entornos de laboratorio controlados, pueden proporcionar hallazgos auxiliares a la evaluación clínica, no pueden usarse como herramientas de diagnóstico independientes.

En cuanto a las técnicas clínicas para la evaluación postural y en cuanto a los instrumentos posturográficos, como las plataformas posturales (estabilométricas o baropodométricas), la literatura no ha aportado datos sobre su especificidad y sensibilidad en odontología. La revisión más completa publicada hasta ahora concluyó que la utilidad de tales instrumentos / técnicas en odontología es muy pobre (Perinetti et al., 2009). Esos estudios evaluaron, respectivamente, un índice de asimetría del área de balanceo corporal en plataformas posturales para su uso en entornos de laboratorio controlados (Ferrario et al., 1996), y algunos parámetros clínicos para el análisis postural

del tronco en el plano sagital (Nicolakis et al., 2000). La importancia clínica de tales hallazgos aún no se ha definido. Por lo tanto, en general, la gran mayoría de los estudios, consideran limitado el uso de la evaluación postural clínica y dispositivos posturográficos en odontología (Bracco, Deregibus y Piscetta, 2004; Cuccia y Caradonna, 2009), aunque hayan obtenido resultados positivos.

Es importante destacar que parece haber una fuerte diferencia entre el uso de estos dispositivos en el ámbito de la investigación y el uso comercial que caracteriza su adopción en el ámbito clínico. De hecho, este último se basa con demasiada frecuencia en presuntas teorías fisiopatológicas que pretenden justificar la necesidad de tratamientos oclusales irreversibles y costosos. El escepticismo de la comunidad científica hacia la utilidad de los dispositivos tecnológicos en este campo se refiere a su adopción como herramientas de diagnóstico independientes para detectar supuestas anomalías oclusales y posturales que, según las intenciones de los usuarios, deben corregirse.

Algunas de las llamadas corrientes que se acercan a la profesión odontológica (por ejemplo, odontología neuromuscular, kinesiología dental y osteopatía) no son científicamente sólidas y pueden ser una fuente de sobretreatamientos injustificados, con los consiguientes costos biológicos y financieros enormes. Las consecuencias biológicas, psicosociales y sociales, así como las implicaciones clínicas de tales comportamientos, deben ser consideradas para el debate como un problema médico legal creciente (Manfredini, 2011). Por otro lado, hay que tener en cuenta que el uso apropiado de dispositivos tecnológicos con fines de investigación sigue siendo fundamental para profundizar en el conocimiento de la fisiología del sistema estomatognático. Además, una de las principales deficiencias de algunas suposiciones clínicas es que, si bien se ha puesto un gran énfasis en proponer enfoques oclusales para corregir la postura corporal, se ha recopilado poca información sobre la utilidad potencial del tratamiento de la postura corporal para optimizar la función de la mandíbula. Tampoco sobre la relativa utilidad de corregir la oclusión para evitar los trastornos posturales con respecto a otros enfoques sistémicos propios de la medicina rehabilitadora basada en la evidencia.

## **2. HIPÓTESIS DE TRABAJO**

### **2.1. Hipótesis principal:**

1. No existen diferencias significativas en la postura corporal de los sujetos con mordida cruzada unilateral y los sujetos sin mordida cruzada unilateral en bipedestación.

### **2.2. Hipótesis secundarias:**

1. No existen diferencias en la postura corporal de los sujetos con mordida cruzada unilateral y los sujetos sin mordida cruzada unilateral en sedestación.
2. La postura corporal es la misma en sujetos con mordida cruzada en el lado derecho y en el lado izquierdo.
3. La postura corporal no varía al modificar la posición mandibular.
4. La distribución del peso corporal es la misma en sujetos con mordida cruzada unilateral y sin ella.
5. No existe relación entre el lado de preferencia masticatorio, el ojo, el pie, la mano o el oído dominantes y el lado donde se encuentra la mordida cruzada.

## **3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

### **3.1. Objetivo principal:**

1. Comparar la postura corporal en bipedestación de los sujetos con mordida cruzada unilateral y sin mordida cruzada unilateral controlando la información podal y visual.

### **3.2. Objetivos secundarios:**

1. Comparar la postura corporal en sedestación de los sujetos con mordida cruzada unilateral y los sujetos sin mordida cruzada unilateral.
2. Conocer si la postura corporal es diferente en sujetos con mordida cruzada unilateral en el lado derecho y el lado izquierdo.
3. Conocer si cambia la postura corporal al modificar la posición mandibular en

bipedestación y sedestación.

4. Comparar la distribución del peso corporal en sujetos con mordida cruzada unilateral y sin ella.
5. Conocer si existe relación entre alguna lateralidad funcional (lado preferente masticatorio, ojo, mano, oído o pie dominantes).

## 4. MATERIAL Y MÉTODO

### 4.1. MUESTRA

Fueron seleccionados participantes con y sin mordida cruzada unilateral posterior de entre estudiantes voluntarios de la Facultat de Medicina i Ciències de la Salut de la Universitat de Barcelona, así como familiares y amigos de estos y personal de la universidad. El tamaño de la muestra se determinó en base al objetivo principal considerando un error tipo I de 0.05, una potencia de 0.8 y una desviación estándar de 2.0º basándonos en investigaciones previas (Ferreira et al. 2011) y una pérdida de participantes estimada del 10%, buscando encontrar una diferencia clínica de 2º en la alineación del acromion. Por lo tanto, se necesitaron 18 sujetos en cada grupo de estudio (grupos de mordida cruzada y control).

Todos los participantes del estudio rellenaron y firmaron un formulario de consentimiento donde obtuvieron la información detallada del experimento. Los menores de edad estuvieron acompañados en todo momento de su padre, madre o tutor, que fue él/la responsable de firmar el consentimiento. El protocolo del estudio fue aprobado por el comité de Ética de la Universidad de Barcelona (Código 2015/21). El estudio fue realizado de acuerdo con los principios de la Declaración de Helsinki.

Criterios de inclusión grupo mordida cruzada unilateral posterior:

1. Oclusión en mordida cruzada unilateral posterior. Al menos un diente posterior en situación irregular buco-lingual o buco-palatal con uno o más dientes antagonistas con y sin desviación de la línea media.

Criterios de inclusión del grupo control:

1. Clase 1 molar y canina.
2. Overjet y overbite en límites normales.
3. Ausencia de mordida cruzada.
4. Ausencia de desviación de la línea media mandibular.

Criterios de exclusión:

1. Traumas o intervenciones quirúrgicas que puedan influir en la postura.
2. Problemas en el sistema vestibular del oído interno, responsable del equilibrio.
3. Encontrarse bajo tratamiento farmacológico que afecte a la postura.
4. Tratamiento de ortodoncia previo o encontrarse en la actualidad.
5. Tratamiento ortopédico previo o encontrarse en la actualidad.
6. Enfermedad orofacial inflamatoria aguda o crónica.
7. Enfermedad inflamatoria vertebral aguda o crónica.
8. Enfermedad neurológica.

#### **4.2. ESTUDIO Y RECOGIDA DE DATOS**

Mediante una entrevista previa se recopilaron los datos como el sexo, edad, altura y peso. Con el examen clínico se anotó el lado y el número de dientes posteriores en mordida cruzada, la dirección y la cantidad de la desviación de la línea media si la había. Se le pedía al participante que marcara con una x sobre una línea de 10 cm de longitud, su lado de preferencia masticatoria, siendo el extremo izquierdo “siempre mastico por la izquierda” (-1), el extremo derecho “siempre mastico por la derecha” (+1) y el centro “sin preferencia” (0),( Flores Orozco et al., 2015; Khoury-Ribas et al., 2020) mediante el uso del Índice Asimétrico (IA) de la Escala Visual Análoga o en sus siglas en inglés VAS, este sistema se ha presentado previamente como altamente fiable. (Flores-Orozco et al., 2015)

Modificando el protocolo propuesto por Ferreira et al. (Ferreria et al., 2010), la postura fue registrada usando una cámara digital (Canon, modelo 1000D, Tokyo, Japón); 1 trípode; pelotas de poliestireno de 15 mm, cinta adhesiva de doble cara y posteriormente analizada mediante el software de análisis postural (PAS/SAPO). La cámara fue montada a 63 cm de altura sobre el trípode y colocada perpendicularmente a 300cm del sujeto de estudio, con el uso de marcas en el suelo. Para la calibración de las fotografías se colocó una plomada fijada en el techo, marcada con 2 pelotas de poliestireno a una distancia de 0.80 m cada una. Se tomaron fotografías en visión frontal y lateral derecha e izquierda.

El sujeto se colocaba encima de una plataforma estabilométrica (Slim Sensor One Milletrix v 1.0.0.26; Diasu; Roma; Italia) para el reparto de cargas sobre los pies (porcentaje de carga en cada pie).

El procedimiento fue llevado a cabo por el mismo examinador que colocó las pelotas de poliestireno en la piel en los puntos anatómicamente definidos usando cinta adhesiva de doble cara. Se esperó 50 segundos para tomar cada fotografía, es el tiempo que requiere el programa de la plataforma para recoger los datos necesarios.

Se marcaron 11 puntos anatómicos extraídos de los trabajos de Ferreira EA. (2010) con bolas de poliestireno, para definir los ángulos a analizar en el estudio:(Figura 9; trago, acromion, espinas iliacas anterior-superior (EIASs) y posterior superiores (EIPSSs), maléolo lateral y las apófisis espinosas de C7. De estos 11 puntos 10 son bilaterales.

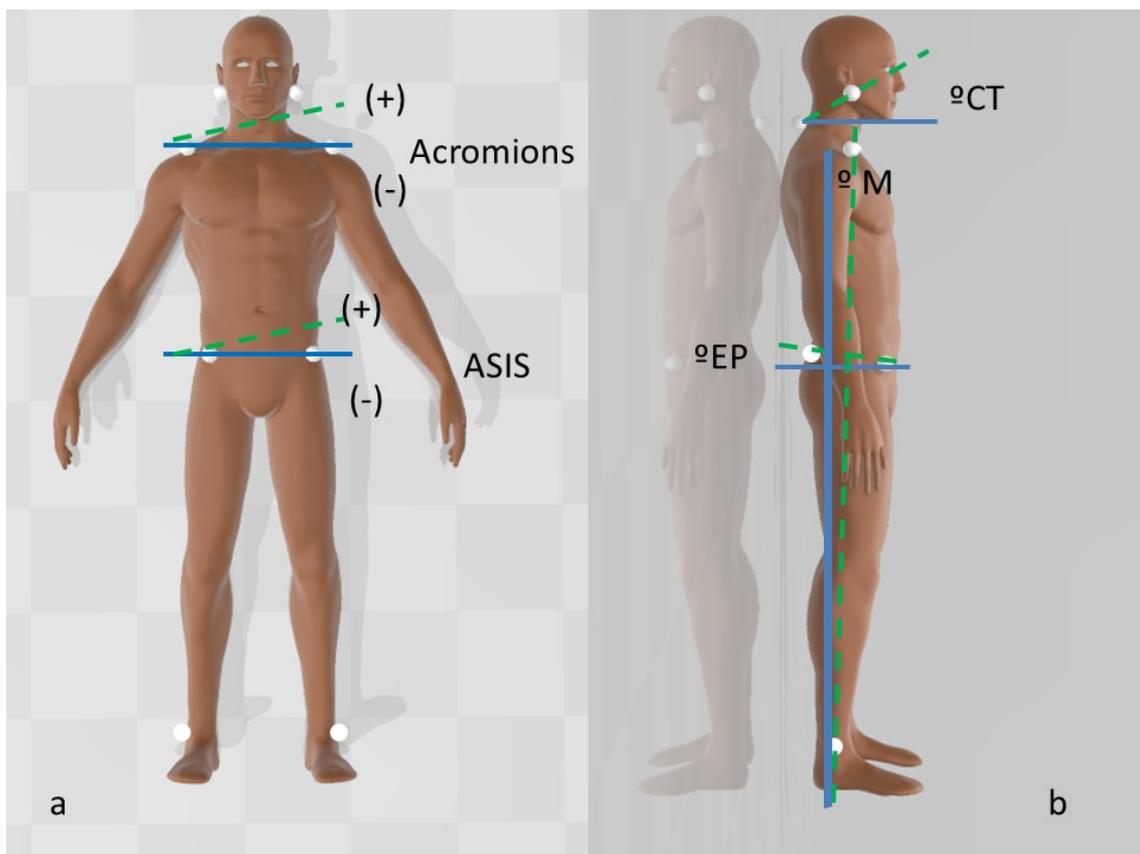


Figura 9. Puntos anatómicos marcados con pelotas de poliestireno.

Se pedía al sujeto que se posicionara sobre la plataforma estabilométrica mirando al infinito, sin influir en su elección postural y se llevó a cabo el registro fotográfico en las siguientes posiciones:

1. Ojos abiertos – Boca en posición de reposo muscular; Posición A,
2. Ojos abiertos – Boca cerrada: Posición B,
3. Ojos cerrados – Boca abierta: Posición C,
4. Ojos cerrados – Boca cerrada: Posición D,

A continuación, se utilizaron algodones marca Roeko<sup>R</sup> Luna N<sup>o</sup> 1 (8mm diámetro) y N<sup>o</sup> 2 (10 mm diámetro) para interponerlos entre ambas arcadas, colocando el algodón de mayor tamaño en el lado de la mordida cruzada, con la intención de centrar la línea media. Se pedía al participante que deambulara durante 30 segundos deglutiendo para permitir una desprogramación oclusal tras lo cual debía volver a situarse en la plataforma estabilométrica mirando al horizonte. En esta situación se realizaban los siguientes registros fotográficos:

5. Interposición de algodones centrando líneas interincisivas – ojos abiertos: Posición E
6. Interposición de algodones centrando líneas interincisivas – ojos cerrados: Posición F

Posteriormente se invertían los tamaños de los algodones cambiándolos de lado, con la intención de aumentar la desviación de la línea media, se repetía el ejercicio de deambulación y deglución, y se tomaban los siguientes registros:

7. Interposición de algodones agravando la desviación – ojos abiertos: Posición G
8. Interposición de algodones agravando la desviación – ojos cerrados: Posición H

En los sujetos control y aquellos que no tenían desviación de la línea media, igualmente se realizaron las fotos interponiendo los algodones y cambiándolos de lado.

A continuación, se retiraban los algodones y con la ayuda de una regla milimetrada se realizaban tres marcas sobre los incisivos centrales superiores, la primera de ellas coincidiendo con la línea media mandibular, otra a tres mm a la izquierda de la marca

nº1, y la última a tres mm a la derecha de la marca nº1. Dichas marcas servían para estandarizar y solicitar al participante que realizase una lateralidad hacia cada lado de 3mm de amplitud coincidiendo con las marcas realizadas y mantuviera esa posición (Lujan-Climent et al., 2008). De esa manera se obtenían también las siguientes fotografías:

9. Desviación forzada de la mandíbula a 3mm a la izquierda de la marca 1 – ojos abiertos: Posición I
10. Desviación forzada de la mandíbula a 3 mm a la izquierda de la marca 1 – ojos cerrados: Posición J
11. Desviación forzada de la mandíbula a 3 mm a la derecha de la marca 1 – ojos abiertos: Posición K
12. Desviación forzada de la mandíbula a 3 mm a la derecha de la marca 1 – ojos cerrados: Posición L

Los registros fotográficos se realizaron en bipedestación sobre plataforma estabilométrica y en sedestación, sentado sobre camilla. Se registraron 12 fotos frontales, 12 fotos laterales izquierdas y 12 fotos laterales derechas, repitiendo todas las posiciones, por tanto, se obtuvieron 36 fotografías de cada sujeto en bipedestación y 36 en sedestación, un total de 72, que fueron codificadas y analizadas con el programa PAS/SAPO.

Todas las fotografías se realizaron en las instalaciones de la Facultat de Medicina i Ciències de la Salut de la Universitat de Barcelona, en un lugar acústicamente aislado.

Después de los registros fotográficos, se realizó un test de observación de la mano, ojo, oído y pie dominante para estudiar su posible relación con la postura corporal. Se pidió al participante que llenara un vaso con agua, que mirara por el orificio de una botella oscura, que escuchara apoyando la oreja sobre un agujero y que pisara un papel en el suelo, anotando el observador la mano, ojo, oído y pie dominantes. (Rovira-Lastra 2016)

### **4.3. ANÁLISIS DE DATOS**

Las fotografías fueron analizadas usando un software de análisis postural de uso público (PAS/SAPO), modificando el protocolo propuesto por Ferreira y cols. (Ferreira et al. 2010).

#### **4.3.1 Análisis de la postura corporal en vista frontal.**

Se trazó una línea que conectaba cada marcador bilateral (acromions, EIAS) y se calcularon los ángulos que formaban la línea que unía los dos marcadores bilaterales (los dos acromions, los dos marcadores de las espinas ilíacas anteriores) y una línea de referencia horizontal. Los ángulos que resultaron en una posición antihoraria respecto de la horizontal se registraron como positivos y los que resultaron en una posición horaria se registraron como valores negativos (figura 9).

#### **4.3.2 Análisis de la postura corporal en vista lateral.**

Para dicho análisis se calcularon los valores de 3 ángulos diferentes:

- Posición de la cadera. Para conocer el ángulo de rotación de la cadera, se calculó el ángulo que forma la línea que une el marcador de la espina ilíaca posterior superior (EIPS), el marcador de la espina ilíaca anterior superior (EIAS) y la línea horizontal (ángulo EP).
- Alineación vertical del cuerpo. Para conocer la inclinación vertical del cuerpo se calculó el ángulo formado por la línea que unía el acromion y el maléolo lateral con la plomada vertical (ángulo M).
- Posición lateral del cráneo. También se midió el ángulo entre la línea horizontal de referencia (90º desde la plomada vertical) y la línea formada por el trago y la C7 (ángulo CT).

En la figura 9 se muestran de manera ilustrativa los ángulos analizados.

#### **4.3.3 Análisis de la distribución del peso corporal.**

Finalmente, la distribución de la presión del pie registrada de la plataforma postural se expresó como un porcentaje de la distribución del peso sobre el pie izquierdo sobre la plataforma estabilométrica.

El mismo operador realizó todos los procedimientos (JZ) después de realizar un estudio piloto con 10 participantes sanos. Se realizó un test-retest en 12 participantes según su disponibilidad. Los coeficientes de correlación intraclase para los principales parámetros se determinaron mediante un modelo mixto con efecto aleatorio para el individuo. Para calcular el error de medición se aplicó la fórmula de Dahlberg (Galvao, 2012). Para analizar las diferencias en las características demográficas y las lateralidades funcionales entre los grupos control, mordida cruzada unilateral posterior izquierda y derecha, se utilizaron las pruebas de Kruskal-Wallis, ajustadas para múltiples pruebas mediante la correlación de Bonferroni, o la prueba de Chi-cuadrado. Se utilizaron cuatro modelos lineales generales con medidas repetidas para evaluar la alineación horizontal del acromion y EIAS, el ángulo C7-trago (CT) y la distribución del peso en el pie como variables dependientes.

La visión, la posición mandibular y la bipedestación fueron considerados como factores intraindividuales. Como factores inter-sujetos se consideró primero como grupo control Vs grupo UPCB (mordida cruzada unilateral posterior) y luego UPCB izquierda, UPCB derecha y grupo control. Para estos, se realizaron comparaciones por pares basadas en las medias marginales estimadas y el ajuste para comparaciones múltiples mediante la prueba de Bonferroni. Se estableció un nivel estadísticamente significativo del  $P < 0,05$  para todos los análisis.

## 5. RESULTADOS

En el estudio participaron 36 adultos sanos, 18 en el grupo casos (14 mujeres y 4 hombres), y 18 en el grupo control (13 mujeres y 5 hombres). Todos los participantes tenían un mínimo de 28 dientes naturales.

Las características descriptivas de los participantes en el estudio se resumen en la Tabla 1.

	Control (n=18)	MORDIDA CRUZADA (n=18)			P-valor
		Total (n=18)	Izquierda (n=12)	Derecha (n=6)	
Género (% mujeres)	77.8	72.2	75	66.7	0.86
Edad (años)	20.8 (1.4)	23.4 (5.8)	25.0 (6.0)	20.3 (4.0)	0.09†
Altura (cm)	168.2 (10.2)	169.7 (10.5)	170.6 (11.8)	168.0 (8.2)	0.73†
Peso (kg)	62.1 (10.3)	64.1 (10.6)	64.6 (10.6)	63.0 (11.6)	0.78†
Numero de dientes cruzados (n)	0	3.0 (1.5)	3.3 (1.5)	2.3 (1.4)	
Desviación línea media (mm)	0	2.94 (2.0)	2.75 (2.1)	3.33 (1.9)	
Mano dominante (% derecha)	88.9	88.9	83.3	100	0.32
Pie dominante (% derecha)	94.4	77.8	83.3	66.7	0.22
Oído dominante (% derecha)	88.9	61.1	66.7	50	0.12
Ojo dominante (% derecha)	61.1	55.6	58.3	50	0.89
Asimetría Masticatoria (iAM)	0.36 (0.40)	-0.06 (0.66)	-0.22 (0.66)	0.26 (0.58)	0.04†

Media (Desviación Estándar). Analizado con test de Chi Cuadrado entre los grupos Control, mordida cruzada izquierda, y mordida cruzada derecha. †Test de Kruskal-Wallis. Valores de Significación ajustados con la corrección de Bonferroni para test multiples. La desviación de la línea media se refiere solamente a magnitud, no a la dirección.

Tabla 1. Descripción de las características de los sujetos estudiados.

En el grupo casos, 12 participantes presentaban una mordida cruzada a la izquierda, 9 de ellos presentaban también desviación de la línea media a la izquierda, mientras que los otros 6 participantes presentaban una mordida cruzada a la derecha, 5 de ellos con desviación de la línea media a la derecha.

La mayoría de los participantes presentaban un uso del oído, ojo, mano y pie derechos dominante sin ninguna diferencia significativa con el grupo control y entre los grupos con mordida cruzada derecha o izquierda.

Los participantes del grupo casos con mordida cruzada posterior izquierda prestaron un IA diferente comparado con aquellos que presentaban la mordida cruzada posterior derecha (P = 0,04; Test Kruskal-Wallis).

Se realizó un test-retest con 12 de los participantes, de los cuales 10 de ellos eran del grupo control y 2 del grupo casos (11 mujeres y 1 hombre) con una edad media de 20

años. Los resultados del Coeficiente de Correlación Intraclase se muestran en la Tabla 2.

		Coeficiente de Correlación Intraclase (95%IC)			
		Máxima Intercuspidación	Position de Reposo	Lateralidad Izquierda	Lateralidad Derecha
Alineamiento Horizontal Acromion	Standing	0.71 (0.25;0.90)	0.72 (0.26;0.91)	0.76 (0.38;0.92)	0.82 (0.50;0.94)
	Seated	0.88 (0.44;0.97)	0.75 (0.05;0.94)	0.72 (0.26;0.91)	0.79 (0.43;0.93)
Alineamiento Horizontal ASIS	Standing	0.61 (0.08;0.87)	0.53 (0.02;0.83)	0.41 (-0.10;0.77)	0.54 (0.04;0.84)
	Seated	-	-	-	-
Ángulo CT	Standing	0.75 (0.34;0.92)	0.78 (0.40;0.93)	0.89 (0.58;0.97)	0.77 (0.40;0.93)
	Seated	0.78 (0.41;0.93)	0.78 (0.43;0.93)	0.68 (0.19;0.90)	0.73 (0.28;0.91)
Distribución peso pié izquierdo	Standing	0.64 (0.16;0.88)	0.61 (0.13;0.87)	0.68 (0.23;0.90)	0.58 (0.01;0.86)
	Seated	-	-	-	-
Abreviatura: ASIS, espina ilíaca antero-superior; IC, intervalo de confianza; CT, línea trago-cervical.					

Tabla 2: Reproducibilidad estimada para el coeficiente de correlación intraclase para las principales variables en referencia a la posición mandibular

## 5.1. ANALISIS DE LA POSTURA CORPORAL EN VISIÓN FRONTAL

### 5.1.1 Alineación de los acromions. Ángulo AA

Los valores del ángulo que mide el alineamiento de los acromions en visión frontal se pueden observar en la figura 10.

Los datos reflejan que el alineamiento de los acromions (AA) presenta una diferencia significativa entre el grupo casos y el grupo control ( $P = 0.010$ ), controlados por la variable visual ( $P=0.045$ ), la variable “posición mandibular” ( $P=0.211$ ) y la variable bipedestación/sedestación ( $P= 0.255$ ). También el ángulo AA presenta diferencias significativas entre los participantes del grupo casos que presentan la mordida cruzada al lado derecho, la mordida cruzada al lado izquierdo y el grupo control ( $P=0.035$ ) cuando controlamos la variable visual ( $P=0.123$ ), la variable posición mandibular ( $P=0.076$ ), y la variable bipedestación/sedestación ( $P=0.938$ ).

La posición mandibular parece no tener ningún efecto dependiendo del lado donde se encuentre la mordida cruzada (efecto de interacción  $P=0.225$ ). La comparación por pares (Pairwise comparisons) revela que el grupo control no presenta una diferencia significativa en la alineación de los acromions con el grupo de mordida cruzada posterior derecha (diferencia media,  $1.66^\circ$ ; 95%CI,  $-0.26$  a  $3.59^\circ$ ;  $p = 0.110$ ) y el grupo de mordida

cruzada izquierda (diferencia media, 1.35; 95%CI, -0.17 a 2.88;  $p = 0.095$ ). No se observaron diferencias significativas en la alineación horizontal de los acromions entre los sujetos con mordida cruzada derecha e izquierda.

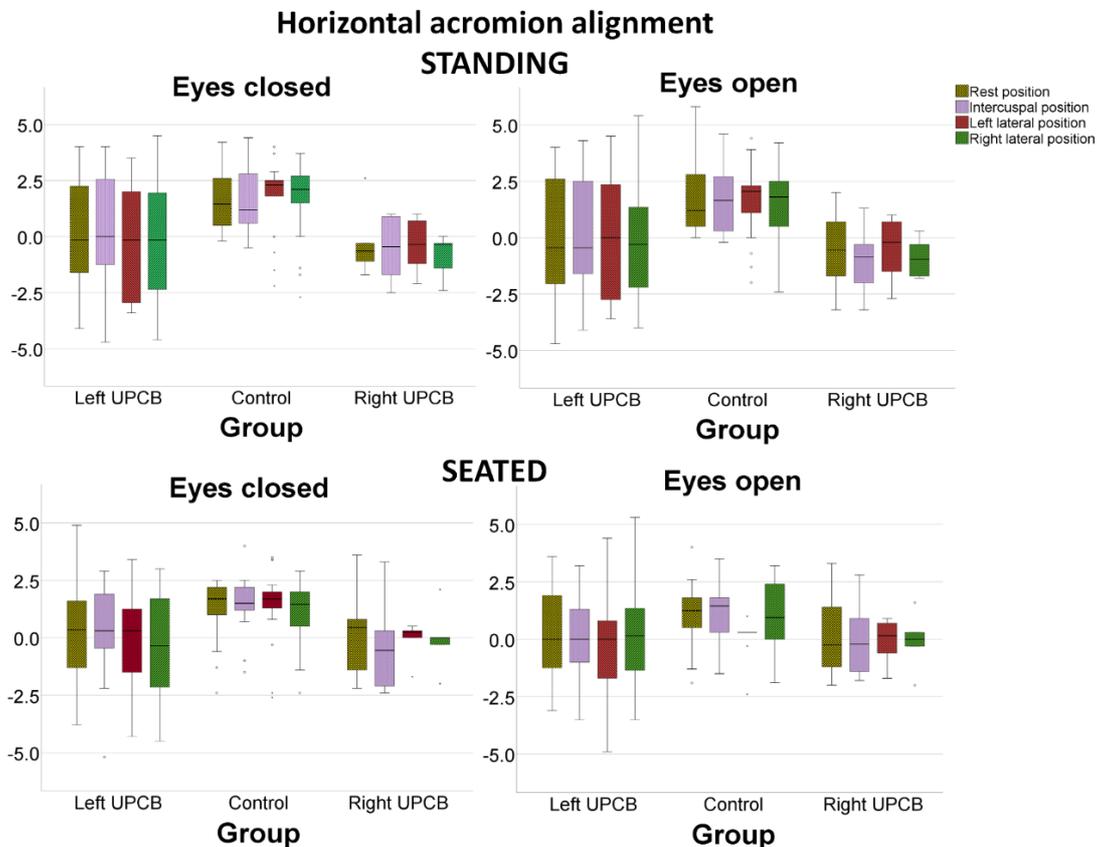


Figura 10: Alineación horizontal de los acromiones (Ángulo AA), controlado por variable visual, posición mandibular y postura bipedestación/sedestación.

### 5.1.2 Alineación horizontal de las caderas. Ángulo EIAS

El alineamiento horizontal de la cadera medido por el ángulo EIAS en visión frontal, muestra una diferencia significativa entre los grupos casos y controles ( $p=0.008$ ) cuando controlamos la variable visual ( $p = 0.151$ ) y la posición mandibular ( $p = 0.577$ ). También este alineamiento horizontal de las EIAS presenta una diferencia significativa cuando comparamos los participantes con mordida cruzada izquierda, derecha y grupo control ( $p = 0.026$ ). No hay un efecto significativo de la variable visual en el alineamiento horizontal ( $P=0.199$ ) ni de la posición mandibular ( $P=0.908$ ) (Figura 11). Además, las posiciones mandibulares no tienen efecto en función del lado donde se encuentre la mordida cruzada (efecto de interacción  $P=0.522$ ). La comparación por

pares revela que el grupo control tiene unos ángulos EIAS similares a los participantes con mordida cruzada posterior derecha (diferencia media, 2.02°; 95%CI, -0.06° a 4.09°;  $p = 0.060$ ) y aquellos con mordida cruzada posterior izquierda (diferencia media, 1.42°; 95%CI, -0.23° a 3.06°;  $p = 0.011$ ). No se observan diferencias significativas en el alineamiento horizontal de las EIAS entre los participantes del grupo casos con mordida cruzada posterior derecha e izquierda.

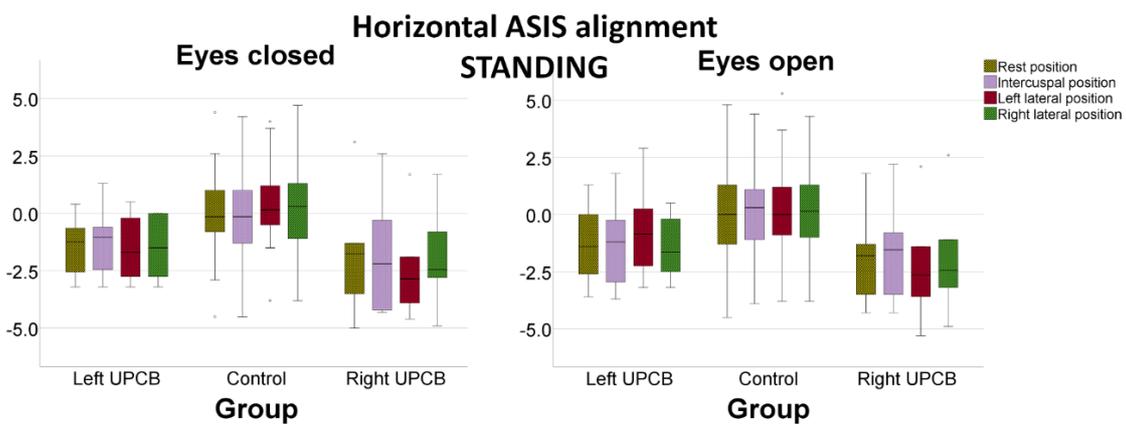


Figura 11: Alineación horizontal de las espinas ilíacas anterior superior (EIAS) (°), controlando la variable visual y las posiciones mandibulares.

## 5.2. ANALISIS DE LA POSTURA CORPORAL EN VISIÓN LATERAL

### 5.2.1 Rotación de la cadera. Ángulo EP

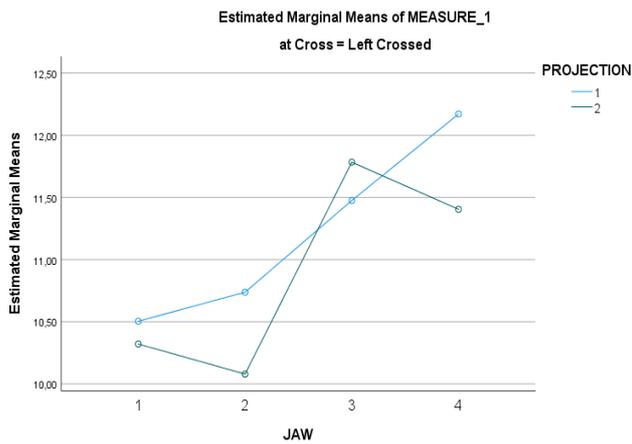
El análisis de la alineación de la cadera uniendo las espinas ilíacas posteriores (EIPS) y las anteriores (EIAS) en una vista lateral (ángulo EP), presenta los valores que se muestran en la figura 12 (a y b) en función de la proyección y las posiciones mandibulares.

No existen diferencias significativas entre los casos y los controles ( $p = 0.858$ ). La posición mandibular tuvo un efecto significativo en la alineación de las EIPS ( $p = 0.20$ ), sin embargo, ese efecto quedaba anulado cuando se tenía en cuenta la interacción entre la posición mandibular y pertenecer al grupo de casos o controles ( $p = 0.939$ ). También, el hecho de tomar el registro desde una proyección u otra tuvo un efecto significativo ( $p = 0.028$ ), incluso cuando se tiene en cuenta la interacción con el hecho de pertenecer a los casos o los controles ( $p = 0.012$ ), sin embargo, este efecto pierde

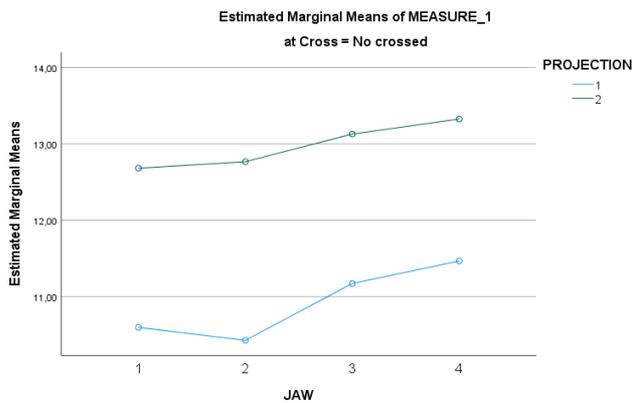
significación cuando además interaccionan la posición mandibular ( $p = 0.966$ ) o la situación visual (ojos abiertos o cerrados) ( $p = 0.221$ ).

Ningún otro factor o combinación de factores tiene un efecto significativo sobre la rotación de la cadera.

a



b



c

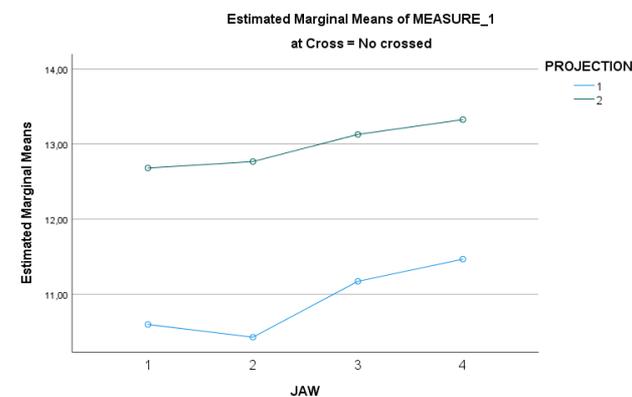
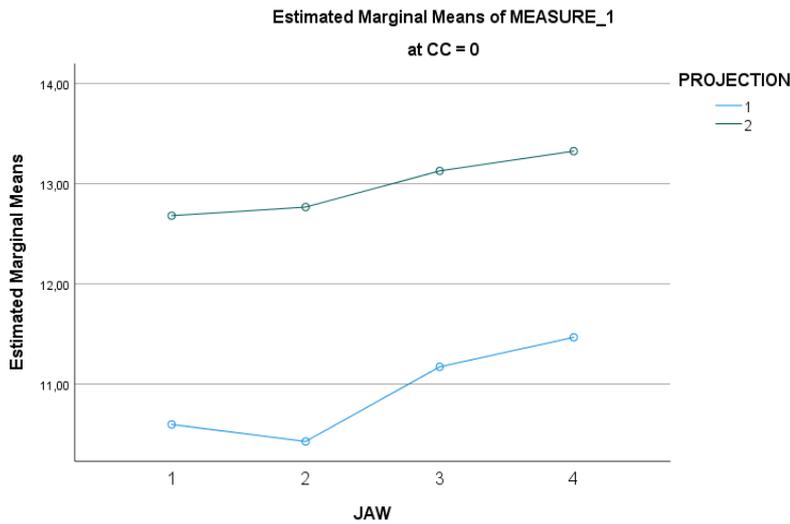


Figura 12: Ángulo de la rotación de las caderas (EP) en función de las posiciones mandibulares y la proyección. a: mordida cruzada izquierda. b: grupo control. c: mordida cruzada derecha. JAW 1 = boca en reposo; JAW 2 = boca en máxima intercuspidad; JAW 3 = lateralidad izquierda; JAW 4 = lateralidad derecha). PROJECTION 1 = registro tomado desde el lado derecho. PROJECTION 2 = registro tomado desde el lado izquierdo.

El hecho de tener la mordida cruzada en el lado derecho, izquierdo, o no tener mordida cruzada, no tiene ningún efecto significativo en la postura de la cadera ( $p = 0.829$ ). Los valores del ángulo EP en función de la posición mandibular y la proyección para los grupos control y de mordida cruzada en el lado derecho o el izquierdo, se muestran en la figura 13.

a



b

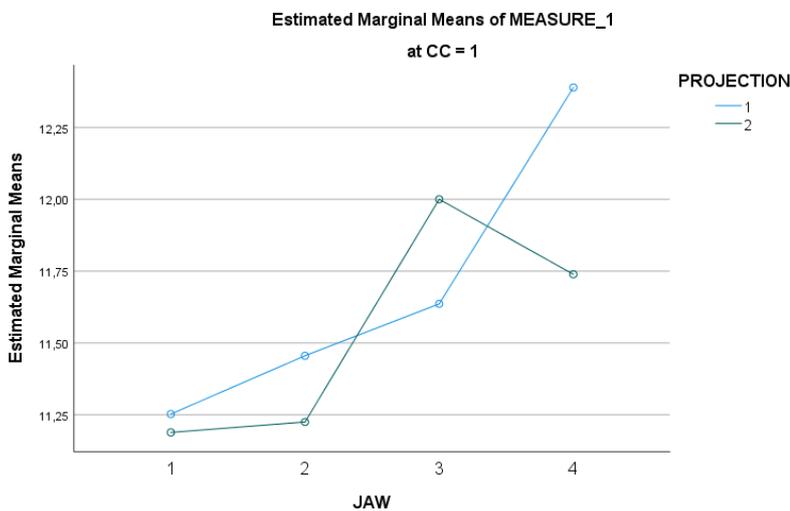


Figura 13: Ángulo de la rotación de las caderas (EP) en función de las posiciones mandibulares y la proyección. a: grupo control. b: grupo mordida cruzada. JAW 1 = boca en reposo; JAW 2 = boca en máxima intercuspidad; JAW 3 = lateralidad izquierda; JAW 4 = lateralidad derecha). PROJECTION 1 = registro tomado desde el lado derecho. PROJECTION 2 = registro tomado desde el lado izquierdo.

### 5.2.2 Alineación vertical del cuerpo. Ángulo M.

Los valores encontrados del ángulo M en los casos y los controles, se encuentran en la tabla 3 en función de la posición de la boca, de la situación de los ojos y de la proyección desde la que se tomó el registro fotográfico.

			OJOS		OJOS	
			Abiertos	Cerrados	Abiertos	Cerrados
Controles	BOCA	Abierta	1,95 ±0,99	2,04 ±0,74	3,40 ±0,99	3,62 ±0,99
		Cerrada	2,14 ±0,80	2,28 ±0,70	3,83 ±1,03	3,32 ±1,10
Casos	BOCA	Abierta	3,32 ±0,99	3,83 ±1,63	2,11 ±1,72	2,18 ±1,42
		Cerrada	3,20 ±1,50	3,33 ±1,84	2,38 ±1,59	2,57 ±1,71
			Proyección	derecha	Proyección	izquierda

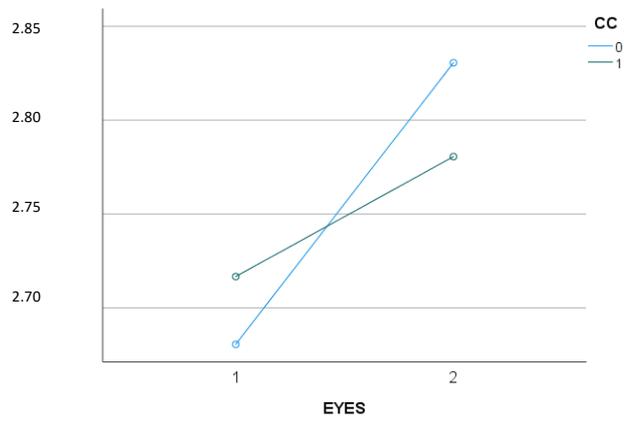
*Tabla 3. Valores del ángulo M.*

En el análisis univariante el hecho de pertenecer al grupo de los casos o los controles no ha tenido un efecto significativo sobre el valor del ángulo M ( $p = 0.931$ ). En el análisis multivariante, ninguno de los factores estudiados por sí solo tiene un efecto significativo sobre el ángulo M, ni la situación de los ojos (efecto visual) ( $p = 0.061$ ), ni la posición de la boca ( $p = 0.372$ ), ni la proyección desde donde se tomó el registro fotográfico ( $p = 0.353$ ).

Solamente la combinación de la proyección, la posición de la boca y el hecho de pertenecer al grupo de los casos o los controles tuvo un efecto significativo ( $p = 0.002$ ), sin embargo, esta combinación perdió potencia cuando se introdujo en el modelo la variable de la situación visual ( $p = 0.328$ ).

Los valores del ángulo M en función de las diferentes posiciones de la boca y los ojos se muestran en la figura 14.

a



b

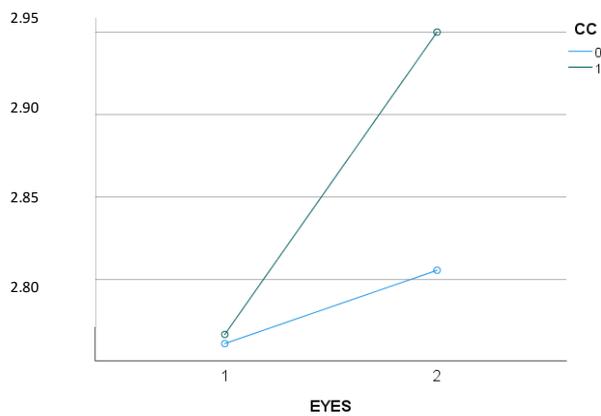


Figura 14: Ángulo M. Alineación vertical del cuerpo. a: Boca en reposo. b: Boca en máxima intercuspidadación. CC=0: grupo control. CC=1: grupo casos. Eyes=1: Ojos abiertos. Eyes=2: ojos cerrados.

Los valores del ángulo M en función de las diferentes proyecciones desde donde se tomó el registro fotográfico se muestran en la figura 15 (a y b).

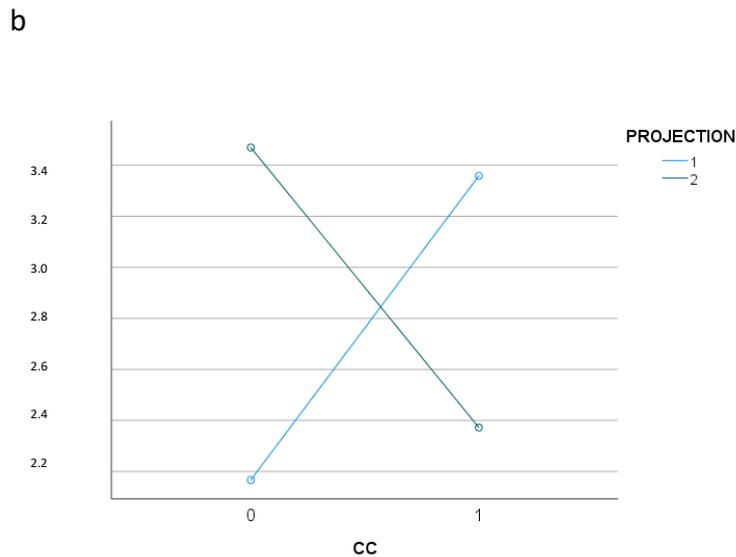
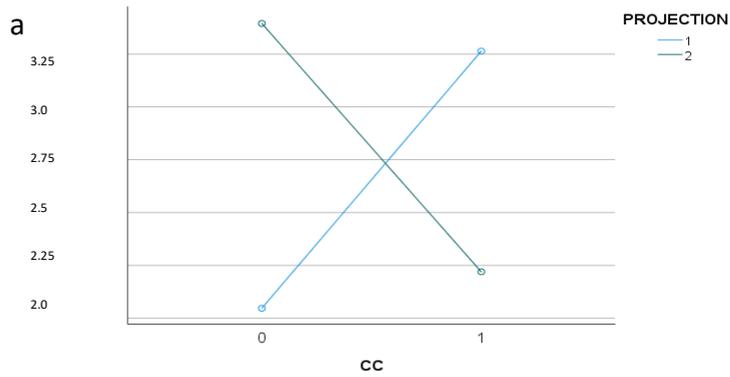


Figura 15: Ángulo M. Alineación vertical del cuerpo. a: Ojos abiertos. b: Ojos cerrados.  
 CC=0: grupo control. CC=1: grupo casos.  
 Projection=1: Registro tomado desde la izquierda. Projection=2: Registro tomado desde la derecha.

Al movilizar la mandíbula realizando lateralidades derecha e izquierda, se ha encontrado un efecto significativo en el análisis multivariante ( $p = 0.028$ ), sin embargo, esta variable pierde el efecto significativo cuando se introduce en el modelo cualquier otra de las variables estudiadas en el trabajo.

Los valores del ángulo M en función de las diferentes posiciones mandibulares y la proyección desde la que se realizó el registro fotográfico, se muestra en la figura 16 (a y b).

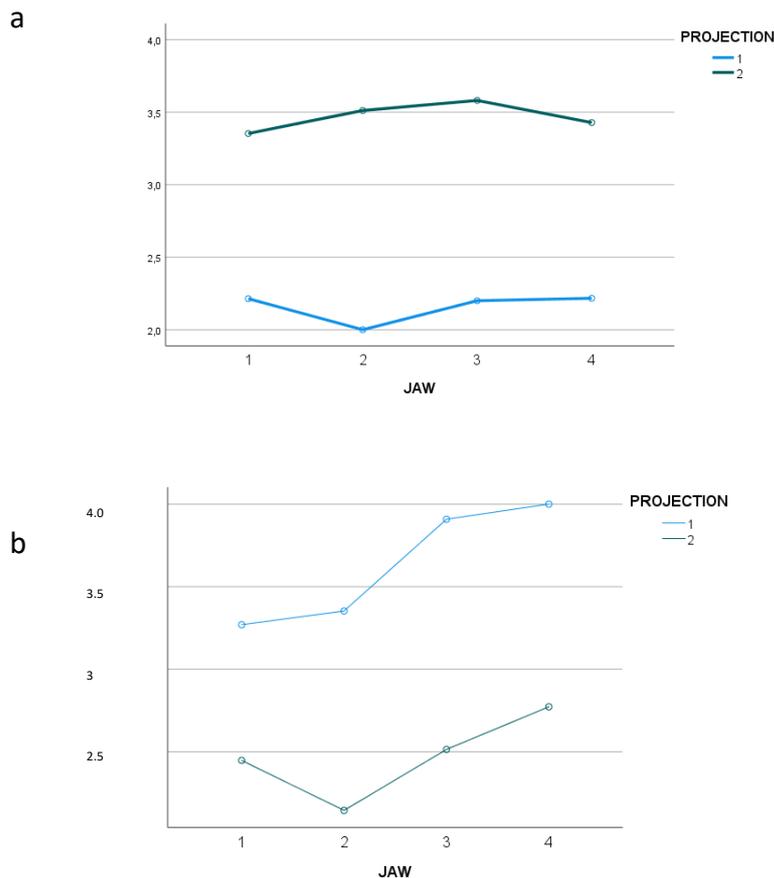


Figura 16: Ángulo M. Alineación vertical del cuerpo. a: Grupo control. b: Grupo de mordida cruzada.

Jaw=1: boca en reposo. Jaw=2: boca en máxima intercuspidad. Jaw=3: boca cerrada en lateralidad izquierda. Jaw=4: boca cerrada en lateralidad derecha.

### 5.2.3 Alineación horizontal del cráneo. Ángulo CT

El lado donde se encuentra la mordida cruzada no muestra un efecto significativo en el ángulo CT ( $p = 0.79$ ), incluso después de controlar la variable visual ( $p=0.007$ ) las posiciones mandibulares ( $p=0.001$ ), la posición bipedestación/sedestación ( $p < 0.0005$ ) y la proyección desde la que se hizo el registro fotográfico ( $p=0.175$ )

Los valores medios para todos los participantes en cada posición mandibular son los siguientes: en reposo,  $48.0^\circ$  (95%CI,  $46.6^\circ$  a  $49.4^\circ$ ); máxima intercuspidad  $47.6^\circ$  (95%CI,  $46.2^\circ$  a  $48.9^\circ$ ); lateralidad a la izquierda,  $49.0^\circ$  (95%CI,  $47.7^\circ$  a  $50.4^\circ$ ); y lateralidad a la derecha,  $49.0^\circ$  (95%CI,  $47.6^\circ$  a  $50.4^\circ$ ). Sin embargo, la diferencia fue de  $4.1^\circ$  (95%CI,  $3.3^\circ$  a  $4.9^\circ$ ) superior cuando comparamos la posición de bipedestación con sedestación, y de  $0.5^\circ$  (95%CI,  $0.1^\circ$  a  $0.8^\circ$ ) superior cuando comparamos ojos abiertos con ojos cerrados.

### **5.3. ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL PESO CORPORAL**

Finalmente, el lado de cruzado no presenta una relación con la distribución del peso sobre la plataforma estabilométrica ( $p=0.830$ ). Esto se mantiene también cuando controlamos las variables visuales ( $p=0.492$ ) y posiciones mandibulares ( $p=0.338$ ). Las medias para los grupos control, mordida cruzada posterior izquierda y mordida cruzada posterior derecha, son 48.13% (95%CI, 46.9% a 49.4%), 48.55% (95%CI, 47.0% a 50.1%) y 47.81% (95%CI, 45.7% a 49.9%) respectivamente.

## 6. DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo sugieren que los individuos con y sin mordida cruzada posterior presentan diferencias en la postura corporal en visión frontal. Estas diferencias, son de un rango de 1 a 2º en el alineamiento horizontal a nivel de los acromions y de las espinas ilíacas anteriores.

Los participantes del grupo control, presentan una postura de los acromions en sentido horizontal desequilibrada, con unos valores similares a los que se han publicado en otros trabajos (Ferreira et al., 2011). Estas diferencias, se mantienen incluso cuando el modelo estadístico se controla por las variables: estado visual, posición mandibular y el hecho de estar de pie o sentado.

Por este motivo, estos resultados apoyan o están acorde a las investigaciones que consideran que los individuos con mordida cruzada unilateral probablemente tienen una postura corporal diferente a aquellos que no la tienen. Sin embargo, aunque las diferencias en los valores de la alineación de los acromions y de las espinas ilíacas anteriores son estadísticamente significativas, la magnitud de las diferencias es relativamente pequeña (1-2º), y probablemente esta magnitud no tenga relevancia clínica, puesto que como ya se ha mencionado, los individuos sin mordida cruzada presentaron unos valores de alineación de los acromions menos equilibrados con respecto a los individuos sin mordida cruzada. Además, la desviación estándar de las mediciones estuvo cerca de la magnitud de esa diferencia.

Algunos autores, de hecho, consideran que una diferencia dentro de ese rango podría ser atribuible perfectamente a la asimetría muscular fisiológica normal compatible con una función correcta (Alarcón, 2000; Manfredini et al., 2012; Ferrario, 1993; Giannokopoulos, 2018).

Cuando se analiza la postura corporal mediante fotogrametría en una vista frontal, los valores de reproductibilidad del método varían de moderados a excelentes, y son similares a los publicados en otros trabajos que utilizaron este método para realizar un análisis sagital (Dimitriadis, 2015; Ruivo, 2015). Sin embargo, en nuestro trabajo la proyección desde la que se ha tomado el registro tiene un efecto significativo en los valores del ángulo EP. Este hallazgo, junto con las diferencias en los valores que se

muestran en las figuras 12, 13, 14 y 15 dependiendo de la proyección, hace pensar que los valores obtenidos en las mediciones en sentido sagital son tremendamente sensibles al método, tal y como indica Manfredini i cols. en su trabajo de revisión (Manfredini, 2011). Lo mismo sucede cuando se analiza la postura corporal mediante la plataforma estabilométrica, aunque en este trabajo haya obtenido una reproductibilidad moderada, algunos autores cuestionan la validez de este método, al considerarlo poco fiable (Perinetti, 2009).

Los participantes del grupo de mordida cruzada presentan una postura corporal similar independientemente de si la mordida cruzada se encuentra a la derecha o a la izquierda, de la misma manera que en otro trabajo, presentaron un grado de desviación vertebral correlacionado con la desviación mandibular solamente cuando se excluía la dirección de la desviación mandibular (Nakashima, 2017).

Como se puede observar en las figuras 10 y 11, los valores en la alineación de los acromions y de las espinas ilíacas anteriores presentan valores más bajos en el grupo de los casos (independientemente del lado en el que tengan la mordida cruzada) que en el grupo de los controles. Este hallazgo hace difícil pensar que exista una relación causa-efecto entre tener mordida cruzada hacia un lado, y una desviación postural hacia un lado determinado, y viceversa.

Aunque el tamaño de la muestra ha sido suficiente para detectar diferencias en los sujetos con mordida cruzada y el grupo control, hay pocos participantes en el grupo de los casos con la mordida cruzada a la derecha o a la izquierda. Por ese motivo, las comparaciones estadísticas entre 3 grupos (controles, mordida cruzada a la derecha y mordida cruzada a la izquierda) se deben interpretar con precaución.

De todas formas, al evaluar la posición corporal variando la posición mandibular con lateralidades (corrigiendo o acentuando la línea media cuando se le hacía a los sujetos realizar una lateralidad derecha o izquierda), tampoco ha tenido ningún efecto en la postura corporal estática en vista frontal, con lo cual la supuesta influencia de la posición mandibular en la postura corporal queda eliminada y no se elimina el efecto. De hecho, en dos estudios longitudinales (Lippold, 2012; Mason, 2018) observaron que

corrigiendo la mordida cruzada no obtuvieron cambios relevantes en la postura corporal.

Es cierto que existen numerosos estudios con diferentes diseños metodológicos y no todos han obtenido resultados similares en la magnitud y dirección de las variaciones de la postura corporal en sujetos con diferentes maloclusiones o posiciones mandibulares (Perinetti, 2010; Scharnweber, 2017; Manfredini et al., 2012; Ohlendorf, 2014; Lippold, 2012). Varios factores que se deberían tener en cuenta para defender una relación causa-efecto entre la mordida cruzada unilateral y la postura corporal en esta tesis doctoral se ha observado que no tienen efecto, por lo tanto, estos hallazgos están de acuerdo con los de Michelotti (Michelotti, 2011) en su trabajo de revisión.

Es posible que los individuos con mordida cruzada tengan diferente postura corporal en el tronco superior que los sujetos sin mordida cruzada, sin embargo, mantienen una distribución del peso corporal similar sobre la plataforma estabilométrica, por lo tanto, esa diferencia queda anulada a nivel de los pies.

Estos resultados van en contra de la teoría de que la oclusión dental es un factor que influye potencialmente en las adaptaciones posturales, y coincide con la opinión de que existe una falta de evidencia sólida que avale la correlación entre la oclusión dental y los hallazgos ortopédicos (Manfredini et al., 2012; Hanke, 2007). Por ese motivo, tal y como han citado muchos otros autores, no existe evidencia científica de que corrigiendo alteraciones oclusales como la mordida cruzada unilateral se pueda prevenir o tratar los desórdenes posturales o musculoesqueléticos (Michelotti, 2006, 2011; Manfredini et al., 2012).

Cuando se ha analizado la postura corporal en vista sagital, como era de esperar, no se ha encontrado una diferencia estadísticamente significativa ni en el ángulo EP ( $p = 0.858$ ), ni en el ángulo M ( $p = 0.931$ ), ni en el ángulo CT ( $p = 0.79$ ) por el hecho de pertenecer al grupo de los casos o los controles. Conceptualmente, incluso asumiendo la supuesta influencia de la oclusión dental en la postura corporal, una asimetría frontal como es la mordida cruzada posterior unilateral, no tendría por qué tener una repercusión postural en vista lateral. Como se puede observar en las figuras 12, 13, 14

y 15, los valores obtenidos de los ángulos EP y M no son los mismos cuando el registro fotográfico se toma desde el lado derecho o desde el lado izquierdo.

Se necesitaría un estudio prospectivo bien diseñado, con unos controles apropiados para aclarar si existe o no un efecto en diferentes aspectos de la postura corporal cuando se corrige una mordida cruzada.

Resulta interesante, conocer que los sujetos con mordida cruzada han respondido que mastican más frecuentemente por el lado de la mordida cruzada. La misma tendencia se encontró en otro estudio, en el que se evaluó el lado de preferencia masticatorio de manera cualitativa (Michelotti, 2019) aunque los resultados no fueran significativos. Otros trabajos, por el contrario, no han encontrado relación entre el lado de preferencia masticatorio y el lado donde se encuentra la mordida cruzada (Martín, 2000; Martínez-Gomis, 2009). Sin embargo, los sujetos con mordida cruzada unilateral han presentado diferencias con los sujetos sin mordida cruzada en la morfología del ciclo masticatorio y el ángulo de lateralidad mandibular (Throckmorton, 2001; Rilo, 2007). Tanto el patrón masticatorio como la lateralidad masticatoria son aspectos importantes de la función masticatoria, y están influenciados por múltiples factores del sistema nervioso central y periférico (Luján-Climent et al., 2009; Rovira-Lastra et al., 2014; Flores-Orozco et al., 2016; Khoury-Ribas et al., 2018, 2020).

La mordida cruzada unilateral podría ser uno de esos factores, pero hasta la fecha, no se ha demostrado que tratar una mordida cruzada unilateral altere la morfología del ciclo masticatorio (Throckmorton, 2001) o el lado de preferencia masticatorio (Michelotti, 2019).

Además, en este trabajo se han analizado otras lateralidades funcionales, como la mano, el oído, el pie o el ojo preferente y no se ha encontrado ninguna relación con el hecho de presentar la mordida cruzada en un lado o en el otro. Se necesitarían trabajos que tengan este objetivo como principal y estén diseñados con un tamaño de muestra apropiado para aclarar si existe alguna relación entre el lado de la mordida cruzada, el grado de asimetría masticatoria, y otras lateralidades funcionales como la mano, el oído, el pie o el ojo preferente.

Este trabajo de investigación presenta algunas limitaciones. Para conseguir potencia estadística suficiente para comparar los sujetos con mordida cruzada en el lado derecho y en el lado izquierdo, se debería haber conseguido el mismo número de sujetos perteneciente a cada grupo y diseñar un estudio comparativo entre 3 grupos (controles, mordida cruzada en el lado derecho y mordida cruzada en el lado izquierdo).

Además, la influencia de la posición mandibular en la postura corporal se ha analizado solamente de manera inmediata, y no se pueden extrapolar los resultados a las situaciones en las que se modifica la posición mandibular de manera permanente, mediante tratamientos como la ortodoncia o la cirugía ortognática. Se podrían diseñar estudios prospectivos con sujetos que realicen este tipo de tratamientos y comparar su postura corporal antes y después del tratamiento.

Por otro lado, el lado de preferencia masticatorio se ha obtenido a través de la pregunta a los sujetos, de manera que es un dato subjetivo, podría realizarse un estudio en el que se analice el lado de preferencia masticatorio con parámetros objetivos, como la masticación de un alimento test.

## 7. CONCLUSIONES

1. La presencia de mordida cruzada unilateral está relacionada con una postura corporal diferente a la de los sujetos sin mordida cruzada en visión frontal y bipedestación. Sin embargo, las diferencias encontradas no solo son clínicamente irrelevantes, sino que el lado donde se encuentra la mordida cruzada no está relacionado con el lado hacia el que varía la postura corporal.

No hay ninguna diferencia de postura corporal en vista lateral entre los sujetos con mordida cruzada unilateral y los sujetos sin mordida cruzada.

2. Las diferencias en la postura corporal en visión frontal entre los sujetos con mordida cruzada unilateral y los sujetos sin mordida cruzada se mantiene en la posición de sedestación, cuando se elimina la propiocepción del apoyo podal.

3. Los sujetos con mordida cruzada unilateral en el lado derecho y los sujetos con mordida cruzada unilateral en el lado izquierdo no parecen tener una postura corporal diferente.

4. Variar la posición mandibular no tiene ningún efecto sobre la postura corporal.

5. La distribución del peso corporal sobre la plataforma estabilométrica es similar en los sujetos con mordida cruzada unilateral y los sujetos sin mordida cruzada.

6. Los sujetos con mordida cruzada unilateral tienen tendencia a masticar más por el lado en el que tienen la mordida cruzada, sin embargo, no hay relación con ninguna otra lateralidad funcional (mano, ojo, oído o pie dominantes).

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Armijo Olivo S., Bravo J., Magee D.J., Thie N.M.R., Major P.W., Flores-Mir C. (2006) The association between head and cervical posture and temporomandibular disorders: a systematic review. *J Orofac Pain*, 20 (1) pp. 9–23.
2. Andrade A. (2009). Posterior crossbite and functional changes. A systematic review. *Angle Orthod Mar*, 79 (2) pp. 380-6.
3. Andrade A., Gameiro G.H., Derossi M., Gavião M.B. (2009) Posterior crossbite and functional changes. A systematic review. *The Angle Orthodontist*, 79 (2) pp. 380–386.
4. Andrade A. (2010). Characteristics of masticatory muscles in children with unilateral posterior crossbite. *Braz. oral res*, 24 (2) pp. 204-10.
5. Alarcon J.A. (2000). Effect of unilateral posterior crossbite on the electromyographic activity of human masticatory muscles. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 118 (3) pp. 328-34.
6. Akahane Y. (2001). Morphology of the temporomandibular joint in skeletal class III symmetrical and asymmetrical. *J Orthod*, 28 (2) pp. 119-28.
7. Ashemad D. (1991). Postural Sway of Human Infants while Standing in Light and Dark. *Child Dev*, 62 (6) pp. 1276-87.
8. Ayuso-Montero R., Mariano-Hernandez Y., Khoury-Ribas L., Rovira-Lastra B., Willaert E., Martinez-Gomis J. (2020). Reliability and Validity of T-scan and 3D Intraoral Scanning for Measuring the Occlusal Contact Area. *Prosthodont*, 29 (1) pp. 19-25.
9. Balaban C. (2004). Projections from the parabrachial nucleus to the vestibular nuclei: potential substrates for autonomic and limbic influences on vestibular responses. *Brain Res*, 996 (1) pp. 126-37.
10. Baldini A., Nota A., Cravino G., Cioffi C., Rinaldi A., Cozza P. (2013). Influence of vision and dental occlusion on body posture in pilots. *Aviat Space Environ Med*, 84 (8) pp. 823-827.
11. Bakke M. (2006). Bite force and occlusion. *Semin Orthod*, 12 (2) pp. 120–126.
12. Bando E., Nishigawa K., Nakano M., Takeuchi H., Shigemoto S., Okura K. et al. (2009). Current status of researches on jaw movement and occlusion for clinical application. *Jap Dent Sci Rev*, 45 (2) pp. 83–97.

13. Bassel G. Diebo., Varghese J.J., Lafage R., Schwab F.J., Lafage V. (2015). Sagittal Alignment of the spine. *Clin Neurol Neurosurg*, 139 pp. 295-301.
14. Baudry S., Penzer F., Duchateau J. (2014). Vision and proprioception do not influence the excitability of the corticomotoneuronal pathway during upright standing in young and elderly adults *Neuroscience*, 268 pp. 247-54.
15. Ben-Bassat Y., Yitschaky M., Kaplan L., Brin I. (2006) Occlusal patterns in patients with idiopathic scoliosis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 130 (5) pp. 629–33.
16. Bourque M.J. (2001). Properties and interconnections of trigeminal interneurons of the lateral pontine reticular formation in the rat. *J Neurophysiol* ;86(5):2583-96.
17. Burwell R.G. (2004) Aetiology of idiopathic scoliosis: current concepts. *Pediatr Rehabil*, 6 (3-4) pp. 137–170.
18. Bogduk N., Mercer S.R. (2000). Biomechanics of the cervical spine. I: Normal Kinematics. *Clin Biomech*, 15 (9) pp. 633–648.
19. Bogduk N. (2002). Innervation and pain patterns of the thoracic spine. In: R Grant (Ed.), *Physical therapy of the Cervical and Thoracic Spine*, 3rd edn. Churchill Livingstone, New York, pp. 73–81.
20. Bogduk N. (2012a). *Clinical Anatomy of the Lumbar Spine and Sacrum*, 5th edn. Elsevier, Edinburgh, pp. 125-143.
21. Bogduk N. (2012b). Lumbar medial branch neurotomy. In: S Dagenais, S Haldeman (Eds.), *Evidence-Based Management of Low Back Pain*, Elsevier, St Louis, pp. 351–363.
22. Bogduk N., Bartsch T. (2008). Cervicogenic headache. In: SD Silberstein, RB Lipton, DW Dodick (Eds.), *Wolff's Headache*, 8th edn. Oxford University Press, New York, pp. 551–570.
23. Bogduk N., Aprill C., Derby R. (2013). Lumbar discogenic pain: state-of-the-art review. *Pain Med*, 14 (6) pp. 813–836.
24. Bogduk N. (2016). Functional Anatomy of the spine. *Handb Clin Neurol*, 136 pp. 675-88.
25. Burwell R.G. (2004). Aetiology of idiopathic scoliosis: current concepts. *Pediatr Rehabil*, 6 (3-4) pp. 137–70.
26. Bjork A., Krebs A., Solow B. A method for epidemiological registration of malocclusion. *Acta odontologica Scandinavica*, 22 pp. 27-41.
27. Bracco P., Deregibus A., Piscetta R. (2004). Effects of different jaw relations on postural stability in human subjects. *Neurosci Lett*, 356 (3) pp. 228-230.

28. Castroflorio T., Icardi K., Torsello F., Deregibus A., Debernardi C., Bracco P. (2005). Reproducibility of surface EMG in the human masseter and temporalis muscle areas. *Cranio*, 23 (2) pp. 130– 137.
29. Carlsson G.E. (2009). Critical review of some dogmas in prosthodontics. *J Prosthodont Res*, 53 (1) pp. 3–10.
30. Carini F., Mazzola M., Fici C., Palmeri S., Messina M., Damiani P., Tomasello G. (2017). Posture and posturology, anatomical and physiological profiles: overview and current state of art. *Acta Biomed*, 88 (1) pp. 11-16.
31. Ceneviz C., Mehta N.R., Forgione A., et al. (2006). The immediate effect of changing mandibular position on the EMG activity of the masseter, temporalis, sternocleidomastoid, and trapezius muscles. *Cranio*, 24 (4) pp. 237-244.
32. Chinappi A.S., Getzoff H. (1995). The dental-chiropractic co-treatment of structural disorders of the jaw and temporomandibular joint dysfunction. *J Manipulative Physiol Ther*, 18 (7) pp. 476–81.
33. Christensen L.V. (1985). Lateral preference in mastication: A feasibility study. *J Oral Rehabil*, 12 (5) pp. 421-7.
34. Christensen L.V., Mohamed S.E., Harrison J.D. (1982) Delayed onset of masseter muscle pain in experimental tooth clenching. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 48 (5) pp. 579-84.
35. Christensen L.V, Slabbert J.C.G. (1978) The concept of the sagittal condylar guidance; biological fact or fallacy? *J of Oral Rehabilitation*, 5 (1) pp. 1-7.
36. Cuccia A., Caradonna C. (2009). The relationship between the stomatognathic system and body posture. *Clinics (Sao Paulo)*, 64 (1) pp. 61-66.
37. Curtis D.A. (1991). Adaptability of the adult primate craniofacial complex to asymmetrical lateral forces. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 100 (3) pp. 266-73.
38. Daskalogiannakis J. (2000) Glossary of orthodontic terms. Berlin: Quintessence Publishing Group. Dynamics in orthodontics pp. 105-135.
39. D’Attilio M., Filippi M.R., Femminella B., Festa F., Tecco S. (2005) The influence of an experimentally-induced malocclusion on vertebral alignment in rats: a controlled pilot study. *Cranio*, 23 (2) pp. 119-129.

40. Da Silva A. (2008). A: Posterior crossbite and functional changes. Systematic review. *Angle Orthod*, 79 (2) pp. 380-6.
41. Da Silva A. (2010) Characteristics of masticatory muscles in children with unilateral posterior crossbite. *Braz Oral Res*, 24 (2) pp. 204-10.
42. De Boever J.A., McCall J., Holden S., Ash J. (1978). Functional occlusal forces: an investigation by telemetry. *J Prosthet Dent*, 40 (3) pp. 326–333.
43. De Long M. (2007). Circuits and circuit disorders of the basal ganglia. *Arch Neurol*, 64 (1) pp. 20-4.
44. Di Giulio I. et al (2009). The proprioceptive and agonist roles of gastrocnemius, soleus and tibialis anterior muscles in maintaining human upright posture. *J Physiol.*, 587 (10) pp. 2399–2416.
45. Doual J.M., Ferri J., Laude M. (1997). The influence of senescence on craniofacial and cervical morphology in humans. *Surg Radiol Anat*, 19 (3) pp. 175–183.
46. Dworkin S.F., Leresche L. (1992) Research diagnostic criteria for temporomandibular disorders: review, criteria, examinations and specifications, critique. *J Craniomandib Disord*, 6 (4) pp. 301–355.
47. Ehrlich J., Taicher S. (1981) Intereuspal contacts of the normal dentition in centric occlusion. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 45 (4) pp. 419.
48. Emami E., de Souza R.F., Kabawat M., Feine J.S. (2013). The impact of edentulism on oral and general health. *Int J Dent.*;2013 :498305.
49. Ferrario V.F, Sforza C., Schmitz J.H., Taroni A. (1996). Occlusion and center of foot pressure variation: is there a relationship? *J Prosthet Dent*, 76 (3) pp. 302-308.
50. Ferrario V.F. (1993). Electromiographic activity of human masticatory muscles in normal young people. *J Oral Rehabil*, 20 (3) pp. 271-80.
51. Ferreira E.A., Duarte M., Maldonado E.P., Burke T.N., Marques A.P. (2010). Postural assessment software (PAS/SAPO): Validation and reliability. *Clinics (Sao Paulo)*, 65 pp. 675-681.
52. Ferreira E.A., Duarte M., Maldonado E.P., Bersanetti A.A., Marques A.P. (2011). Quantitative assessment of postural alignment in young adults based on photographs

- of anterior, posterior, and lateral views. *J Manipulative Physiol Ther*, 34 pp. 371-380.
53. Festa F., Tecco S., Dolci M., Ciufolo F., Di Meo S., Filippi M.R., et al. (2003). Relationship between cervical lordosis and facial morphology in Caucasian women with a skeletal class II malocclusion: a cross-sectional study. *Cranio*, 21 (2) pp. 121–9.
  54. Fields H.W., Proffit W.R., Case J.C., Vig K.W.L. (1986). Variables affecting measurements of vertical occlusal forces. *J Dent Res*, 65 (2) pp. 135–138.
  55. Flores-Orozco E.I., Rovira-Lastra B., Peraire M., Salsench J., Martinez-Gomis J. (2006) Reliability of a visual analog scale for determining the preferred mastication side. *J Prosthet Dent*, 115 (2) pp. 203-208.
  56. Forbes P.A., Lulu B.L, Machiel van der Loos H.F., Croft E.A., Inglis J.T., Blouin J. (2016). Transformation of Vestibular Signals for the Control of Standing in Humans. *J Neurosci.*, 36 (45) pp. 11510–11520.
  57. Gangloff P., Louis J.P., Perrin P.P. (2000) Dental occlusion modifies gaze and posture stabilization in human subjects. *Neuroscience Letters*, 293 (3) pp. 203–6.
  58. Gadotti I.C, Berzin F., Biasotto-Gonzalez D. (2005). Preliminary rapport on head posture and muscle activity in subjects with Class I and II. *J Oral Rehabil*, 32 (11) pp. 794–9.
  59. Germe A. (2016). Early risk factors for posterior crossbite and anterior open bite in the primary dentition. *Angle Orthod*, 86 (5) pp. 832-8.
  60. Gibbs C.H., Wickwire. N.A. Jacobson A.P., Lundeen H.C, Mahan P.E, & Lupkiewicz. S.M, (1982) Comparison of typical chewing patterns in normal children and adults. *Journal of the American Dental Association*, 105 (1) pp. 33-42.
  61. Gibbs C.H., Anusavice K.J., Young H.M., Jones J.S., Esquivel J.F. (2002). Maximum clenching force of patients with moderate loss of posterior tooth support: a pilot study. *J Prosthet Dent*, 88 (5) pp. 498–502.
  62. Greene C.S., Goddard G., Macaluso G.M., Mauro G. (2009). Topical review: placebo responses and therapeutic responses. How are they related? *J Orofac Pain*, 23 (2) pp. 93–107.
  63. Gresham H., Smithells P. (1954). Cervical and mandibular posture. *Dent Rec*, 74, pp. 261-264.

64. Grunheid T., Langenbach G.E., Korfage J.A., Zentner A., Van Eijden T.M. (2009). The adaptive response of jaw muscles to varying functional demands. *Eur J Orthod*, 31 (6) pp. 596–612.
65. Guldin W.O. (1998). Is there a vestibular cortex? *Trends Neurosci*, 21 (6) pp. 254-9.
66. Henry M., Baudry S. (2019). Age-related changes in leg proprioception: implications for postural control. *J Neurophysiol*, 122 (2) pp. 525–538.
67. Hosoda M., Masuda T., Isozaki K., et al. (2007) Effect of occlusion status on the time required for initiation of recovery in response to external disturbances in the standing position. *Clin Biomech*, 22 (3) pp. 369–373.
68. Hoch M.C., Russell D.M. (2016) Plantar cooling does not affect standing balance: A systematic review and meta-analysis. *Gait & Posture* 43. pp. 1–8
69. Huggare J., Pirttiniemi P., Serlo W. (1991). Head posture and dentofacial morphology in subjects treated for scoliosis. *Proc Finn Dent Soc*, 87 (1) pp. 151–8.
70. Hwang S., Agada P., Kiemel T., Jeka J. (2014). Dynamic reweighting of three modalities for sensor fusion. *Plos One*, 9 (1) pp. e88132
71. Veli I. (2011). Mandibular Asymmetry in unilateral and bilateral posterior crossbite patient using CBCT. *Angle Orthod*, 81 (6) pp. 966-74.
72. Illipronti- Filho E. (2015). Evolution of mandibular condile in children with unilateral posterior crossbite. *Braz Oral Res*, 29, pp. 49.
73. Johnsen S.E, Svensson K.G, Trulsson M. (2007). Forces applied by anterior and posterior teeth and roles of periodontal afferents during hold-and-split tasks in human subjects. *Exp Brain Res*, 178 (1) pp. 126–134.
74. Juliá-Sánchez S. (2018). Dental occlusion and body balance: A question of environmental constraints? *J. Oral Rehabil*, 46 (4) pp. 388–397.
75. Julià-Sánchez S., Álvarez-Herms J., Gatterer H., Burtscher M., Pagès T., Viscor G. (2016) The influence of dental occlusion on the body balance in unstable platform increases after high intensity exercise. *Neurosci Lett*, 23 (617) pp. 116-121.

76. Kaidonis J.A., Ranjitkar S., Lekkas D., Brook A.H., Townsend G.C. (2014). Functional dental occlusion: an anthropological perspective and implications for practice. *Aust Dent J*, 59 (1) pp. 162–173.
77. Kaidonis J.A. (2008). Tooth wear: the view of the anthropologist. *Clin Oral Investig*, 12 (1) pp. 21–26.
78. Kelly J.E, Harvey C.R. (1977). An assessment of the occlusion of the teeth of youths 12–17 years. *Vital Health Stat*, 11 (162) pp. 1– 65.
79. Khoury-Ribas L., Ayuso-Montero R., Willaert E., Peraire M., Martinez-Gomis J. (2020). Changes in masticatory laterality 3 months after treatment with unilateral implant-supported fixed partial prosthesis. *J Oral Rehabil*, 47 (1) pp. 78-85.
80. Kilic N., Kiki A., Oktay H. (2008). Condylar asymmetry in unilateral posterior crossbite patients. *Am J Orthod Dentofac Ortho*, 133 (3) pp. 382–387.
81. Kiliaridis S., Mahboubi P.H., Raadsheer M.C. and Katsaros C. (2007) Ultrasonographic thickness of the masseter muscle in growing individuals with unilateral crossbite. *The Angle Orthodontist*, 77 (4) pp. 607–611.
82. Kolta A. (2000). Identification of brainstem interneurons projecting to the trigeminal motor nucleus and adjacent structures in the rabbit *J Chem Neuroanat*, 19 (3) pp. 175-95.
83. Korbmacher H. (2004). Correlations between anomalies and pathologies of the locomotor. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie* , 65 (3) pp. 190–203.
84. Krause M. (2014). Radiation-free spinometry. *Osteoporos Int*, 25 (11) pp. 2657-62.
85. Wozniak K. (2015). The electrical activity of the temporal and masseter muscles in patients with TMD and unilateral posterior crossbite. *Biomed Res Int*, 2015 pp. 259372.
86. Korbmacher H., Eggers-Stroeder G., Koch L., Kahl-Nieke B. (2004). Correlation between anomalies of the dentition and pathologies of the locomotor system: a literature review. *J Orofac Orthop*, 65 (3) pp. 190–203.
87. Kumar Talapneneni A. (2012). The association between posterior unilateral crossbite and craniomandibular asymmetry: Systematic review. *J Orthod*, 39 (4) pp. 279-91.
88. Kurol J. (1992). Longitudinal study on cost-benefit analysis. *Eur J Orthod*, 14 (3) pp. 173-9.

89. Lakie M., Caplan N. y Loram I.D. (2003). Human balancing of an inverted pendulum with a compliant linkage: neural control by anticipatory intermittent bias. *J Physiol*, 551 (1) pp. 357–370.
90. Leitner C., Mair P., Paul B., Wick F., Mittermaier C., Sycha T. et al. (2009). Reliability of posturographic measurements in the assessment of impaired sensorimotor function in chronic low back pain. *J Electromyogr Kinesiol*, 19 (3) pp. 380–390.
91. Le Huec J.C., Thompson W., Mohsinaly Y., Barrey C., Faundez A.(2019). Sagittal Balance of the spine, *Eur Spine J*, 28 (9) pp. 1889-1905.
92. Lепley C.R., Throckmorton G.S., Ceen R.F., Buschang P.H. (2011). Relative contributions of occlusion, maximum bite force, and chewing cycle kinematics to masticatory performance. *Am J Orthod Dentofac Orthop*, 139 (5) pp. 606–613.
93. Lippold C., Danesh G., Schilgen M., Drerup B., Hackenberg L. (2006). Relationship between thoracic, lordotic, and pelvic inclination and craniofacial morphology in adults. *Angle Orthod*, 76 (5) pp. 779–85.
94. Liu C. (2007). Effects of a mandibular lateral shift of the condyle and mandibular bone in growing rats. *Angle Orthod*, 77 (5) pp. 787-93.
95. Lodice G. (2016). Association between posterior crossbite, skeletal and muscle asymmetry: Systematic review. *Eur J Orthod*, 38 (6) pp. 638-651.
96. Lopez C. (2015a). Making Sense of the Body: the Role of Vestibular Signals. *Multisens Res*, 28 (5-6) pp. 525-57.
97. Lopez C. (2015b). Vestibular cortex, in: *Brain Mapping: an Encyclopedic Reference*, Vol. 2, Anatomy and Physiology, Systems, A. W. Toga (Ed.) Academic Press/Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. pp. 305–312.
98. Lopez, C. and Blanke, O. (2011). The thalamocortical vestibular system in animals and humans, *Brain Res. Rev*, 67 (1-2) pp. 119–146.
99. Loram I., Maganaris C., Lakie M., (2004). Paradoxical muscle movement in human standing. *J Physiol*, 556 (3) pp. 683-9.
100. Loram I.D., Maganaris C.N., Lakie M. (2005). Human postural sway results from frequent, ballistic bias impulses by soleus and gastrocnemius. *J Physiol*, 564 (1) pp. 295–311.
101. Lord S.R. (2000). Visual Contributions to Postural Stability in Older Adults. *Gerontology*, 46 (6) pp. 306–310.

102. Lujan-Climent M., Martinez-Gomis J., Palau S., Ayuso-Montero R., Salsench J., Peraire M. (2008). Influence of static and dynamic occlusal characteristics and muscle force on masticatory performance in dentate adults. *Eur J Oral Sci*, 116 (3) pp. 229-236.
103. Lund P. (2006). Brainstem circuits that control mastication: Do they have anything to say during speech? *J Commun Disord*, 39 (5) pp. 381-90.
104. Magnin, M. and Putkonen, P. T. (1978). A new vestibular thalamic area: electrophysiological study of the thalamic reticular nucleus and of the ventral lateral geniculate complex of the cat, *Exp. Brain Res*, 32 (1) pp. 91–104.
105. Manfredini D. (2011). Implant prosthetics and temporomandibular disorders. In: Bucci Sabattini V, ed. *New frontiers in immediately loaded dental implants*. Bologna: Ed. Martina, pp. 115–128.
106. Manfredini D., Castroflorio T., Perinetti G., Guarda-Nardini L. (2012). Dental occlusion, body posture and temporomandibular disorders: where we are now and where we are heading for. *J Oral Rehabil*, 39 (6) pp. 463-471.
107. Manfredini D. (2010). Fundamentals of TMD management. In: Manfredini D, ed. *Current concepts on temporomandibular disorders*. Berlin: Quintessence Publishing, pp. 305–318.
108. Marini I., Gatto M.R., Bartolucci M.L., Bortolotti F., Alessandri Bonetti G., Michelotti A. (2013). Effects of experimental occlusal interference on body posture: an optoelectronic stereophotogrammetric analysis. *J Oral Rehabil*, 40 (7) pp. 509-518.
109. Magnusson M. (1990). Significance of pressor input from the human feet in anterior-posterior postural control. The effect of hypothermia on vibration-induced body-sway. *Acta Otolaryngol*, 110 (3-4) pp. 182-8.
110. McNamara J.A. (1975). Functional adaptations in the temporomandibular joint. *Dent Clin North Am*, 19 (3) pp. 457-71.
111. Mercer S.R., Bogduk N. (2003). Clinical anatomy of ligamentum nuchae. *Clin Anat*, 16 (6) pp. 484–493.
112. Michael J.A., Townsend G.C., Greenwood L.F., Kaidonis J.A. (2009). Abfraction: separating fact from fiction. *Aust Dent J*, 54 (1) pp. 2–8.
113. Michelotti A., Farella M. (2010) Malocclusion and body posture. In: Manfredini D, ed.

- Current concepts on temporomandibular disorders. Berlin: Quintessence Publishing, pp. 283–293.
114. Michelotti A., Farella M., Buonocore G., Pellegrino G., Piergentili C., Martina R. (2007). Is unilateral posterior crossbite associated with leg length inequality? *Eur J Orthod*, 29 (6) pp. 622–6.
  115. Moller, E. (1966) The chewing apparatus. An electromyographic study of the action of the muscles of mastication and its correlation to facial morphology. *Acta Physiol Scand*, 280, pp. 1-229.
  116. Mohamed S.E., Christensen L.V. & Harrison J.D. (1983) Tooth contact patterns and contractile activity of the elevator jaw muscles during mastication of two different types of food. *Journal of Oral Rehabilitation*, 10 (1) pp. 87-95.
  117. Mongini F. (1986). Computer-based assessment of habitual mastication. *J Prosthet Dent*, 55 (5) pp. 638-49.
  118. Moon H.J., Lee Y.K. (2011). The relationship between dental occlusion/ temporomandibular joint status and general body health: part 2. Fascial connection of TMJ with other parts of the body. *J Altern Complement Med*, 17 (12) pp. 1119-1124.
  119. Shigemi M., Matsui T., Kuze B., Asanome M., Nakajima K., Matsuyama K. (1999) Estimulation of a restricted region in the midline cerebellar white matter evokes coordinated quadrupedal locomotion in the decerebrate cat. *J. Neuro-physiol*, 82 (1) pp. 290–300.
  120. Nashner L., Berthoz A. (1978) Visual contribution to rapid motor responses during postural control. *Brain Res*, 150 (2) pp. 403-407.
  121. Nakano H., Maki K., Shibasaki Y., Miller A.J. (1994). Three-dimensional changes in the condyle during development of an asymmetrical mandible in a rat: a microcomputed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 126 (4) pp. 410-20.
  122. Nakamura Y., Katakura N. (1995). Generation of masticatory rhythm in the brainstem. *Neurosci Res*, 23 (1) pp. 1–19.
  123. Nihat Kilic. (2006). Condylar asymmetry in unilateral posterior crossbite patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 133 (3) pp. 382-7.

124. Nicolakis P., Nicolakis M., Piehslinger E., Ebenbichler G., Vachuda M., Kirtley C. (2000) Relationship between craniomandibular disorders and poor posture. *Cranio*, 18 (2) pp. 106–112.
125. Nijs J., Malfliet A., Ickmans K., Baert I., Meeus M. (2014). Treatment of central sensitization in patients with ‘unexplained’ chronic pain: an update. *Expert Opin Pharmacother*, 15 (12) pp. 1671–1683.
126. Nobili A., Adversi R. (1996). Relationship between posture and occlusion: a clinical and experimental investigation. *Cranio*, 14 (4) pp. 274–85.
127. Nowitzke A., Westaway M., Bogduk N. (1994). Cervical zygapophyseal joints: geometrical parameters and relationship to cervical kinematics. *Clin Biomech*, 9 (6) pp. 342–348.
128. Papadopoulos M.A., Gkiazouris I. (2007). A critical evaluation of metaanalyses in orthodontics. *Am J Orthod Dentofac Orthop*, 131 (5) pp. 589–599.
129. Peck C.C., Goulet J.P., Lobbezoo F., Schiffman E.L., Alstergren P., Anderson G.C. et al. (2014). Expanding the taxonomy of the diagnostic criteria for temporomandibular disorders. *J Oral Rehabil*, 41 (1) pp. 2–23.
130. Peck C.C. (2016). Biomechanics of occlusion – implications for oral rehabilitation *Journal of Oral Rehabilitation*, 43 (3) pp. 205–214.
131. Perinetti G., Marsi L., Castaldo A., Contardo L. (2012). Is postural platform suited to study correlations between the masticatory system and body posture? A study of repeatability and a meta-analysis of reported variations. *Prog Orthod*, 13 (3) pp. 273-280.
132. Pinganaud G., Bernat I. Buisseret P., Buisseret-Delmas C. (1999). Trigeminal projections to hypoglossal and facial motor nuclei in the rat *J Comp Neurol*, 415 (1) pp. 91-104.
133. Phillips C., Snow M.D., Turvey T.A., Proffit W.R. (1991). The effect of orthognatic surgery on head posture. *Eur J Orthod*, 13 (5) pp. 397–403.
134. Planas P. (2013). *Rehabilitación Neuro-Oclusal*. 3ª ed. Ripano. pp. 388.
135. Price R.B., Kolling J.N., Clayton J.A. (1991). Effects of changes in articulator settings on generated occlusal tracings. Part I: Condylar inclination and progressive side shift

- settings. *J Prosthet Den*, 65 (2) pp. 237–243.
136. Posselt U. (1952). Studies in the mobility of the human mandible. *Acta Odontol Scand*, 10 (10) pp. 1–151.
  137. Posselt U. (1968). *Physiology of occlusion and rehabilitation*. 2nd ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications. pp. 25-42.
  138. Prochazka A. (1989). Sensorimotor gain control: a basic strategy of motor systems? *Prog Neurobiol*, 33 (4) pp. 281-307.
  139. Proske U. (2006). Kinesthesia: the role of muscle receptors. *Muscle Nerve*, 34 (5) pp. 545–558.
  140. Pullinger A. (2013). Establishing better biological models to understand occlusion. I: TM joint anatomic relationships. *J Oral Rehabil*, 40 (4) pp. 296–318.
  141. Ribeiro-Rotta R.F., Marques K.D., Pacheco M.J., Leles C.R. (2011). Do computed tomography and magnetic resonance imaging add to temporomandibular joint disorder treatment? A systematic review of diagnostic efficacy. *J Oral Rehabil*, 38 (2) pp. 120–135.
  142. Riemann B.L., Lephart S.M. (2002). The sensorimotor system, part I: the physiologic basis of functional joint stability. *J Athl Train*, 37 (1) pp. 71–79.
  143. Rinchuse D.J., Kandasamy S., Sciote J. (2007). A contemporary and evidence-based view of canine protected occlusion. *Am J Orthod Dentofac Orthop*, 132 (1) pp. 90–102.
  144. Rilo B. (2007). Unilateral postreior crossbite and mastication. *Arch Oral Biol*, 52 (5) pp. 474-8.
  145. RtiSE C. (1983) *Clinical and Electromyographic Studies on Occlusion*. Department of Stomatognathic Physiology. Karolinska Institute. Stockholm, 37, pp. 5-58.
  146. Rotraut R. (2006). The unilateral chewing penomenon, oclusión and TMD. *Cranio* Jul, 24 (3) pp. 166-70.
  147. Rosenoer L.M., Sheiham A. (1995). Dental impacts on daily life and satisfaction with teeth in relation to dental status in adults. *J Oral Rehabil*, 22 (7) pp. 469–480.

148. Roy J. E. and Cullen K. E. (2004). Dissociating self-generated from passively applied head motion: neural mechanisms in the vestibular nuclei. *Journal of Neuroscience*, 24 (9) pp. 2102-2111.
149. Roussouly P. (2011). Biomechanical analysis of the spino pelvic organization and adaptation. *Eur Spine*, 20 (5) pp. 609-18.
150. Rovira-Lastra, B., Flores-Orozco, E.I., Ayuso-Montero, R., Peraire, M., Martinez-Gomis, J. (2016). Peripheral, functional and postural asymmetries related to the preferred chewing side in adults with natural dentition. *J Oral Rehabil*, 43 (4) pp. 279-285.
151. Saccucci M., Tettamanti L., Mummolo S., et al. (2011). Scoliosis and dental occlusion: a review of the literature. *Scoliosis*, 6 (1) pp. 15.
152. Santana-Mora U. (2003). Temporomandibular Disorders: The habitual chewing side syndrome. *PLoS One*, 8 (4) pp. e59980.
153. Sakaguchi K., Mehta N.R., Abdallah E.F., et al. (2007). Examination of the relationship between mandibular position and body posture. *Cranio*, 25 (4) pp. 237-249.
154. Sato C., Muramoto T., Soma K. (2006). Functional lateral deviation of the mandible and its positional recovery on the rat condylar cartilage during the growth period. *Angle Orthod*, 76 (4) pp. 591-7.
155. Sever E. (2011). Relationship between masticatory cycle morphology and unilateral crossbite in the primary dentition. *Eur J Orthod*, 33 (6) pp. 620-7.
156. Sheppard I.M., Markus N. (1962). Total time of tooth contacts during mastication. *J Prosth Dent*, 12 (4) pp. 460-463.
157. Sato C., Muramoto T., Soma K. (2006). Functional lateral deviation of the mandible and its positional recovery on the rat condylar cartilage during the growth period. *Angle Orthod*, 76 (4) pp. 591-7
158. Stapley P.J., Ting L.H., Hulliger M., Macpherson J.M. (2002). Automatic postural responses are delayed by pyridoxine-induced somatosensory. *J Neurosci*, 22 (14) pp. 5803-7.
159. Standring S. (2008). *Gray's Anatomy*, 40th edn. Churchill Livingstone, Edinburgh, pp. 736-743.
160. Stohler C.S. (2007). Temporomandibular joint disorders – the view widens while

- therapies are constrained. *J Orofac Pain*, 21 (4) pp. 261.
161. Sforza C., Tartaglia G.M., Solimene U., Morgun V., Kaspranskiy R.R., Ferrario V.F. (2006). Occlusion, sternocleidomastoid muscle activity, and body sway: a pilot study in male astronauts. *Cranio*, 24 (1) pp. 43-49.
  162. Solow B., Sandham A. (2002). Craniocervical posture: a factor in the development and function of the dentofacial structures. *Eur J Orthod*, 24 (5) pp. 447–56.
  163. Solow B., Sonnesen L. (1998). Head posture and malocclusions. *Eur J Orthod*, 20 (6) pp. 685–693.
  164. Sonnesen L., Bakke M. (2007). Bite force in pre-orthodontic children with unilateral crossbite. *European Journal of Orthodontics*, 29 (3) pp. 310–313.
  165. Sonnesen L., Bakke M., Solow B. (1998). Malocclusion traits and symptoms and signs of temporomandibular disorders in children with severe malocclusion. *Eur J Orthod*, 20 (5) pp. 543-59.
  166. Tardieu C., Dumitrescu M., Giraudeau A., Blanc J.L., Cheynet F., Borel L. (2009). Dental occlusion and postural control in adults. *Neurosci Lett*, 450 (2) pp. 221-224.
  167. Takakusaki K. (2005). Orexinergic projections to the cat midbrain mediate alternation of emotional behavioural states from locomotion to cataplexy. *J Physiol*, 568 (3) pp. 1003–1020.
  168. Takakusaki K. (2017). Functional Neuroanatomy for Posture and Gait control. *J Mov Disord*, 10 (1) pp. 1-17.
  169. Thornton L.J. (1990). Anterior guidance: group function/canine guidance. A literature review. *J Prosthet Dent*, 64 (4) pp. 479–482.
  170. Tryde G., Frydenberg O., Brill N. (1962). An assessment of the tactile sensibility in human teeth. An evaluation of a quantitative method. *Acta Odontol Scand*; 20, pp. 233–256.
  171. Trulsson M. (2007). Force encoding by human periodontal mechanoreceptors during mastication. *Arch Oral Biol*, 52 (4) pp. 357–360.
  172. Turp J.C., Greene C.S., Strub J.R. (2008). Dental occlusion: a critical reflection on past, present and future concepts. *J Oral Rehabil*, 35 (6) pp. 446–453.

173. Ueki K. (2000). Temporomandibular joint morphology and disc position in skeletal class III. *J Craniomaxillofac Surg*, 28 (6) pp. 362-8.
174. Van't Spijker A., Creugers N.H., Bronkhorst E.M., Kreulen C.M. (2011). Body position and occlusal contacts in lateral excursions: a pilot study. *Int J Prosthodont*, 24 (2) pp. 133–136.
175. Varrela J. (1990). Occurrence of malocclusion in attritive environment: a study of a skull sample from southwest Finland. *Scand J Dent Res*, 98 (3) pp. 242–247.
176. Wakano S., Takeda T., Nakajima K., Kurokawa K., Ishigami K. (2011). Effect of experimental horizontal mandibular deviation on dynamic balance. *J Prosthodont Res*, 55 (4) pp. 228–233.
177. Wang W.J., Yeung H.Y., Chu W.C., Tang N.L., Lee K.M., Qiu Y. et al. (2011). Top theories for the etiopathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis. *J Pediatr Orthop*, 31(1) pp. 14– 27.
178. Wasserman B.R., Moskovitch R., Razi A.E. (2011). Rheumatoid arthritis of the cervical spine. Clinical considerations. *Bull Hosp Joint Dis* 69 (2) pp. 136–148
179. Weijs W.A., Hillen B. (1985). Cross-sectional areas and estimated intrinsic strength of the human jaw muscles. *Acta Morphologica Neerlando-Scandinavica*, 23 (3) pp. 267–274.
180. Widmale S.E., Ericsson S.G. (1982) Maximal bite force with centric and eccentric load. *Journal of Oral Rehabilitation*, 9 (5) pp. 445-50.
181. Witter D.J., Van Palenstein-Helderman W.H., Creugers N.H., Kayser A.F. (1999). The shortened dental arch concept and its implications for oral health care. *Community Dent Oral Epidemiol*, 27 (4) pp. 249–258.
182. Paulus W.M, Straube A., Brandt T.H. (1988). Visual Stabilization of posture: physiological stimulus characteristics and clinical aspects. *Experimental Brain Research*, 107 (4) pp. 1143–63.
183. Zakrzewska J.M., Lopez B.C. (2004). Trigeminal neuralgia. *Clin Evid*; 12, pp 1880–90.
184. Zhang. L. (2018). Vestibular and corticospinal control of human body orientation in the gravitational field. *J Neurophysiol*, 120 (6) pp. 3026-3041.

## 9. ANEXO



Article

# Relationship between Unilateral Posterior Crossbite and Human Static Body Posture

Jorge Zurita-Hernandez <sup>1</sup>, Raul Ayuso-Montero <sup>1,2,\*</sup> , Meritxell Cuartero-Balana <sup>1</sup>,  
Eva Willaert <sup>1,2</sup> and Jordi Martinez-Gomis <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Faculty of Medicine and Health Sciences, University of Barcelona, 08907 Catalonia, Spain; jzurithe@live.com (J.Z.-H.); meritxellcuartero@gmail.com (M.C.-B.); evawillaert@ub.edu (E.W.); jmartinezgomis@ub.edu (J.M.-G.)

<sup>2</sup> Oral Health and Masticatory System Group (Bellvitge Biomedical Research Institute) IDIBELL, L'Hospitalet de Llobregat, Barcelona, 08907 Catalonia, Spain

\* Correspondence: raulayuso@ub.edu; Tel.: +34-934-035-555

Received: 4 July 2020; Accepted: 13 July 2020; Published: 23 July 2020



**Abstract:** Background: We compared photogrammetry-assessed body posture between young adults with and without unilateral posterior crossbite (UPCB). Assessments were controlled by vision, mandibular position and sitting/standing position. In addition, we aimed to determine the relationship between UPCB laterality and the direction of body posture using photogrammetry and a static postural platform. Methods: Adults with natural dentition, with and without UPCB, were enrolled. Static body posture was assessed by photogrammetry based on horizontal acromial alignment and horizontal anterior-superior iliac spine (ASIS) alignment. Frontal photographs were taken with participants asked to open or close their eyes and hold their jaws at rest, at an intercuspal position, and at left or right lateral positions. Distribution of foot pressure was recorded using a static postural platform at different visual input and mandibular positions. General linear models with repeated measures were used to assess the effect of the various within- and between-subject factors. Results: In total, 36 adults (left UPCB = 12; Right UPCB = 6; controls = 18) participated. There were significant differences between the control and UPCB groups in horizontal alignment at the acromion ( $p = 0.035$ ) and ASIS ( $p = 0.026$ ) levels when controlled by visual input and mandibular position. No significant differences in horizontal alignment or foot pressure distribution were observed by laterality in the UPCB group. Conclusion: The presence of UPCB affects static body posture, but the side of crossbite is not related to the direction of effect on static body posture.

**Keywords:** dental occlusion; body posture; malocclusion; crossbite; photogrammetry; mandibular position

## 1. Introduction

Unilateral posterior crossbite (UPCB) at the intercuspal position (ICP) refers to an occlusal relationship in which the mandibular teeth of only one side are located facial to the opposing maxillary teeth. The condition is thought to affect as much as 12% of the general population [1]. Several studies have related the presence of this type of asymmetry to occlusal interference, abnormal mandible growth and asymmetric muscular activity [2–4]. However, other studies have reported that UPCB does not contribute to asymmetric jaw muscle activity during functional tasks [5] nor to a preferred chewing side [6,7]. It has also been reported that UPCB could be associated with the body posture, especially with postural control and with scoliosis [8,9], though no association has been shown between the side of the scoliosis and the side of the posterior crossbite [8]. In other cross-sectional studies, midline-displacement or crossbite were found to have no influence on postural control or

plantar pressure distribution [10–12]. These apparent discrepancies could be explained by the different populations studied and by the methods used.

Body posture concerns the spatial relation between different anatomical parts of the human body and requires static and dynamic balance based on motor requirements and environment influences [13]. The static aspect of body posture is usually assessed with static postural platforms, but the specificity and sensitivity of these instruments are very poor [13–15]. Photographic measurement or photogrammetry is a more reliable tool for assessing cervical posture in both the standing and sitting positions [16,17]. Horizontal acromial alignment and anterior–superior iliac spine (ASIS) tool can be measured by this approach as a means of assessing trunk alignment in static body posture [18]. The sensory information received by the vestibular, visual and proprioceptive systems modulates postural balance, with deprivation of visual input potentially affecting body posture [13]. It has been reported that temporarily manipulated occlusion, different mandibular positions or sitting/standing positions might result in different body postures [12,19–21]. Therefore, when assessing body posture, different methods should be combined (e.g., postural platform and photogrammetry) and different sources of sensory input should be controlled (e.g., visual input, mandibular position and sitting/standing position [14,22,23]). If body postures are shown to differ between people with and without UPCB, and if the side affected by UPCB correlates to the direction of body posture alteration, this may be necessary to indicate a possible causative association.

The primary aim of this study was to compare body posture assessed by photogrammetry in young adults with and without UPCB, controlling for vision, mandibular position and resting (sitting/standing) position. A secondary aim was to determine the relationship between UPCB laterality and the direction of body posture alteration, using both photogrammetry and a static postural platform. Finally, as a third aim, associations were explored between the side affected by UPCB and several functional lateralities.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Participants

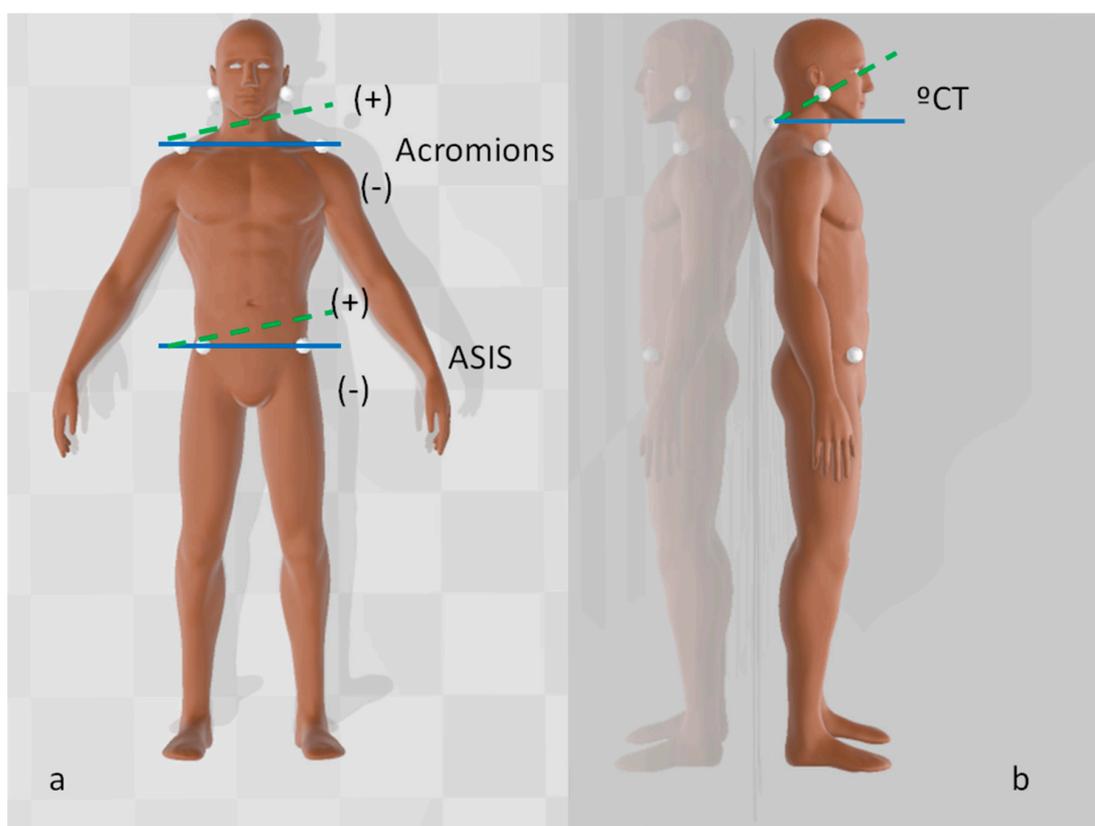
We enrolled healthy adults with and without UPCB from a cohort of volunteer students at the University of Barcelona Dental School (Catalonia, Spain) and from friends or relatives of students and staff of the school. The inclusion criteria were young adults with a minimum of 28 natural teeth, and for the unilateral crossbite group (UPCB), they had at least 1 posterior tooth in crossbite on only one side. The exclusion criteria were auditory, visual, vestibular, neurological, temporomandibular or painful musculoskeletal disorders; pharmacological treatments and history of orthodontic treatment. All participants signed an informed consent form that had been approved by the local Ethics Committee (Code 2015/21). The study was carried out in accordance with the principles of the Helsinki Declaration.

### 2.2. Intervention and Data Collection

Data for gender, age, height and weight were obtained by an interview with each participant. The side and the number of posterior teeth in cross bite, and the direction and amount of midline deviation, were recorded from a clinical examination. A single researcher performed all tests of laterality, as follows: hand (observing that used to stir liquid in a glass), foot (observing that used to stamp on paper placed on the floor), ear (observing that used to listen through a hole) and eye (observing that used to look into a dark bottle) [24]. Finally, masticatory laterality was quantitatively assessed by asymmetry index (AI), using a 10 cm VAS (visual analogue scale) between the left end equivalent to ‘chewing always left’ (−1), and the right end as ‘chewing always right’ (+1), with ‘no preference’ (0) in the middle [25,26]. The reliability of these tests was reported high previously [25].

Static body posture was measured according to the protocol of Ferreira et al. [18], using a digital camera (Canon, model 1000D, Tokyo, Japan), a 63-cm tripod and 15-mm polystyrene balls in an acoustic-free controlled environment. The camera was placed on the tripod 3 m from the subject,

with ground marks in place to centre the tripod to the static postural platform (Slim sensor one Milletrix v. 1.0.0.26; Diasu; Roma, Italy) when taking photographs in the standing posture. Other ground marks were placed to centre the tripod to the stretcher when taking photographs while the participant was seated. Additionally, two markers separated by 80 cm were placed in a vertical plumb to calibrate the images. Seven anatomical points were marked using polystyrene balls fixed with a double-sided adhesive tape: one on the spinous process of seventh cervical vertebrae (C7) and three each bilaterally on the tragus, acromion and ASIS (Figure 1).



**Figure 1.** Anatomical points marked with polystyrene balls. (a) Horizontal alignment at each acromion and anterior-superior iliac spine (ASIS), as measured from the frontal view. (b) The cervical/tragus angle ( $^{\circ}$ CT), as measured in the sagittal plane.

All participants were taught to move the jaw in four different positions (rest, ICP, left-lateral and right lateral). To standardize each lateral position, three marks were made on the maxillary central incisors, with the central mark indicating the midline of the mandibular arch and the other two marks placed 3 mm to the left and right using a template [27]. Photographs were taken in frontal and right- and left-lateral directions, asking participants to perform various activities: opening or closing their eyes to control for vision; holding their jaws in rest, ICP and left- and right- lateral positions to control for mandibular position and standing in the static postural platform or seated in the stretcher in order to control for the sitting/standing position. To minimize risk of bias each photograph was taken after 50 s to stabilize each position. Distribution of foot pressure was recorded just after taking frontal photographs of the participants standing on the static postural platform at the different visual and mandibular positions.

### 2.3. Data Analysis

Photographs were analyzed using open-source postural analysis software (PAS/SAPO, Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, Brazil) [28]. A line connecting each bilateral marker (acromial

or ASIS) was drawn and angles were calculated with reference to the horizontal line. Positive values were in the anticlockwise direction and negative values were in the clockwise direction (Figure 1a). The angle between the reference horizontal line ( $90^\circ$  from the vertical plumb), and the line formed by the tragus and C7 was also measured (Figure 1b). Distribution of foot pressure recorded from the static postural platform was expressed as a percentage of weight distribution to the left foot. The same operator conducted all procedures (JZ).

Sample size was determined based on the primary aim considering a type I error of 0.05, a power of 0.8, a standard deviation of  $2.0^\circ$  based on prior research [18] and an estimated dropout of 10%, seeking to find a clinical difference of  $2^\circ$  in acromion alignment. Therefore, 18 subjects were needed in each study group (crossbite and control groups). A test–retest assessment was performed in 12 participants based on their availability. Intraclass correlation coefficients for the main parameters were determined using a mixed model with a random effect for the individual. To calculate the measurement error, the Dahlberg’s formula was applied [29]. Kruskal–Wallis tests, adjusted for multiple tests by Bonferroni correction or the Chi-square test were used to analyze differences in demographic characteristics and functional lateralities between control, left UPCB and right UPCB groups. Four general linear models with repeated measures were used to assess acromion and ASIS horizontal alignment, the cervical/tragus (CT) angle and the weight-foot distribution as dependent variables. Visual input, mandibular position and when appropriate, standing position and the projection were considered within-subject factors. As a between-subject factors was first considered as control vs. UPCB groups and then left UPCB, right UPCB and control groups. For these, pairwise comparisons were performed based on the estimated marginal means and adjustment for multiple comparisons by a Bonferroni test. The significance level was set at  $p < 0.05$  for all analyses.

### 3. Results

We enrolled 36 healthy adults, with 18 in the UPCB group (14 women and 4 men) and 18 in the control group (13 women and 5 men). All participants had a minimum of 28 natural teeth. Their details are summarized in Table 1. We were able to complete a test–retest assessment with 12 participants (11 women and 1 man, mean age 20 years), of whom 10 were from the control group and 2 were from the UPCB group). The intraclass correlation coefficients for these are shown in Table 2. The Dahlberg error in measuring the horizontal alignment of the acromions ranged, depending on the mandibular position, from  $1.2$  to  $1.6^\circ$  by standing posture and from  $0.6$  to  $1.1^\circ$  by seated posture, and from  $1.0$  to  $1.3^\circ$  measuring the horizontal alignment of the ASIS.

**Table 1.** Demographic characteristics and functional laterality of participants.

Data	Control ( $n = 18$ )	UPCB ( $n = 18$ )			$p$ -Value
		Total ( $n = 18$ )	Left ( $n = 12$ )	Right ( $n = 6$ )	
Gender (% women)	77.8	72.2	75	66.7	0.86
Age (years)	20.8 (1.4)	23.4 (5.8)	25.0 (6.0)	20.3 (4.0)	0.09 †
Height (cm)	168.2 (10.2)	169.7 (10.5)	170.6 (11.8)	168.0 (8.2)	0.73 †
Weight (kg)	62.1 (10.3)	64.1 (10.6)	64.6 (10.6)	63.0 (11.6)	0.78 †
Crossed teeth (n)	0	3.0 (1.5)	3.3 (1.5)	2.3 (1.4)	
Midline deviation (mm)	0	2.94 (2.0)	2.75 (2.1)	3.33 (1.9)	
Handedness (% right)	88.9	88.9	83.3	100	0.32
Footedness (% right)	94.4	77.8	83.3	66.7	0.22
Earedness (% right)	88.9	61.1	66.7	50	0.12
Eyedness (% right)	61.1	55.6	58.3	50	0.89
Masticatory laterality (AI)	0.36 (0.40)	−0.06 (0.66)	−0.22 (0.66)	0.26 (0.58)	0.04 †

Data are shown as mean (SD), unless stated otherwise. Abbreviations: SD, standard deviation; UPCB, unilateral posterior crossbite. Analyzed by a Chi square test between control, left UPCB and right UPCB groups. † Kruskal–Wallis test. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests. Midline deviation refers only on the magnitude, not in the direction.

**Table 2.** Reproducibility estimated by the intraclass correlation coefficients for the main variables regarding the mandibular position.

Reproducibility		Intraclass Correlation Coefficients (95%CI)			
		Intercuspal Position	Rest Position	Left Position	Right Position
Horizontal acromion alignment	Standing	0.71 (0.25;0.90)	0.72 (0.26;0.91)	0.76 (0.38;0.92)	0.82 (0.50;0.94)
	Seated	0.88 (0.44;0.97)	0.75 (0.05;0.94)	0.72 (0.26;0.91)	0.79 (0.43;0.93)
Horizontal ASIS alignment	Standing	0.61 (0.08;0.87)	0.53 (0.02;0.83)	0.41 (−0.10;0.77)	0.54 (0.04;0.84)
	Seated	-	-	-	-
CT angle	Standing	0.75 (0.34;0.92)	0.78 (0.40;0.93)	0.89 (0.58;0.97)	0.77 (0.40;0.93)
	Seated	0.78 (0.41;0.93)	0.78 (0.43;0.93)	0.68 (0.19;0.90)	0.73 (0.28;0.91)
Weight-foot distribution	Standing	0.64 (0.16;0.88)	0.61 (0.13;0.87)	0.68 (0.23;0.90)	0.58 (0.01;0.86)
	Seated	-	-	-	-

Abbreviations: ASIS, anterior-superior iliac spine; CI, confidence interval; CT, cervical-tragus.

In the UPCB group, 12 participants had the crossbite on the left (9 had midline deviation to the left) and 6 had the crossbite on the right (5 had midline deviation to the right). Most participants showed a preference for their right sides in handedness, footedness, earedness and eyedness, with no significant differences between the control group and the right or left UPCB groups. Participants in the left UPCB group reported a different AI compared with the right UPCB group ( $p = 0.04$ ; Kruskal–Wallis test).

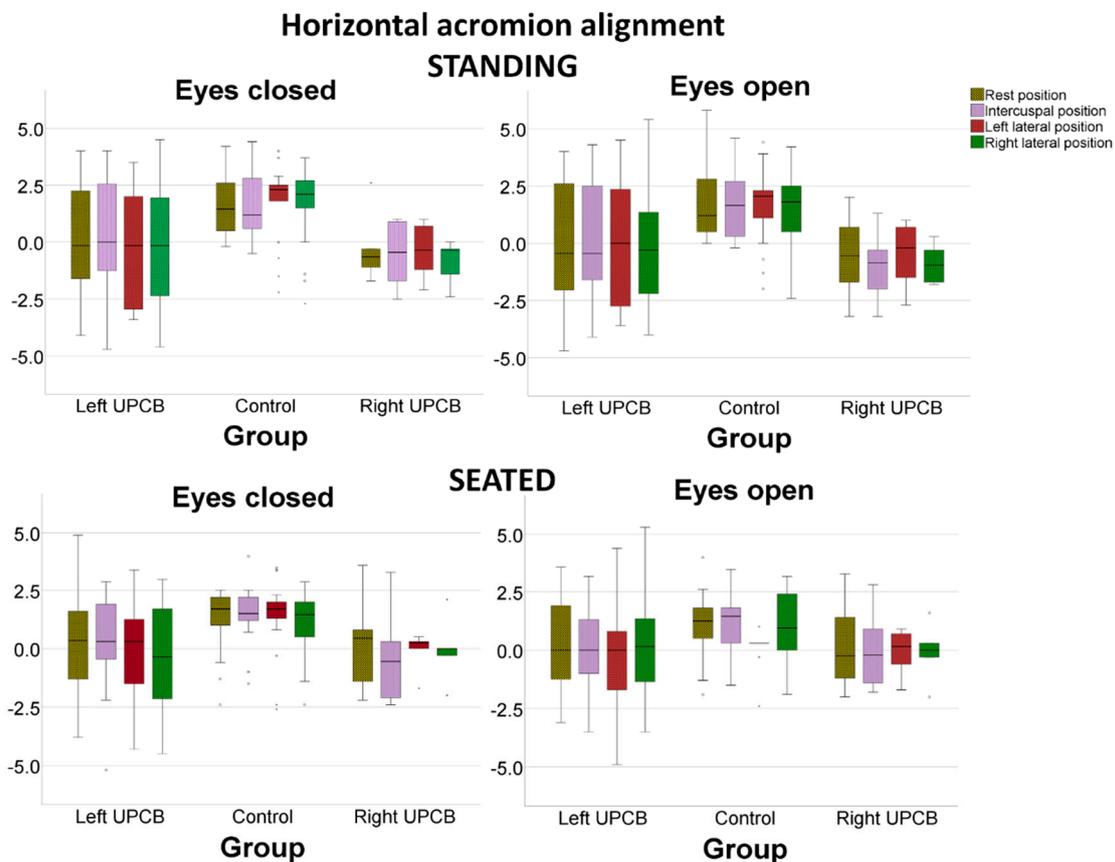
The horizontal alignment data measured in a frontal view is shown in Figures 2 and 3. Horizontal acromion alignment was significantly different between the UPCB and control groups ( $p = 0.010$ ) when controlled by visual input ( $p = 0.045$ ), mandibular position ( $p = 0.211$ ) and standing/sitting position ( $p = 0.255$ ). Horizontal acromion alignment was significantly different between the left UPCB, right UPCB and control groups ( $p = 0.035$ ) when controlled by visual input ( $p = 0.123$ ), mandibular position ( $p = 0.076$ ) and standing/sitting position ( $p = 0.938$ ; Figure 2). Mandibular position had no effect based on the side of the crossbite (interaction effect  $p = 0.225$ ). Pairwise comparisons reveal that the control group had a no-significant different acromial angles than right UPCB group (mean difference,  $1.66^\circ$ ; 95%CI,  $-0.26$ – $3.59^\circ$ ;  $p = 0.110$ ) and the left UPCB group (mean difference,  $1.35^\circ$ ; 95%CI,  $-0.17$ – $2.88^\circ$ ;  $p = 0.095$ ). No significant difference was observed for horizontal acromial alignment between the right and left UPCB groups.

Horizontal ASIS alignment was significantly different between the UPCB and control groups ( $p = 0.008$ ) when controlled by visual input ( $p = 0.151$ ) and mandibular position ( $p = 0.577$ ). Horizontal ASIS alignment was also significantly different between the left UPCB, right UPCB and control groups ( $p = 0.026$ ). There was also no effect on horizontal alignment controlling for visual input ( $p = 0.199$ ) and mandibular position ( $p = 0.908$ ; Figure 3). In addition, mandibular position did not have different effects depending on the laterality of the crossbite (interaction effect  $p = 0.522$ ). Pairwise comparisons revealed that control group had similar ASIS angles than the right UPCB group (mean difference,  $2.02^\circ$ ; 95%CI,  $-0.06$ – $4.09^\circ$ ;  $p = 0.060$ ) and the left UPCB group (mean difference,  $1.42^\circ$ ; 95%CI,  $-0.23$ – $3.06^\circ$ ;  $p = 0.011$ ). No significant difference was observed in the horizontal alignment of the ASIS between the right and left UPCB groups.

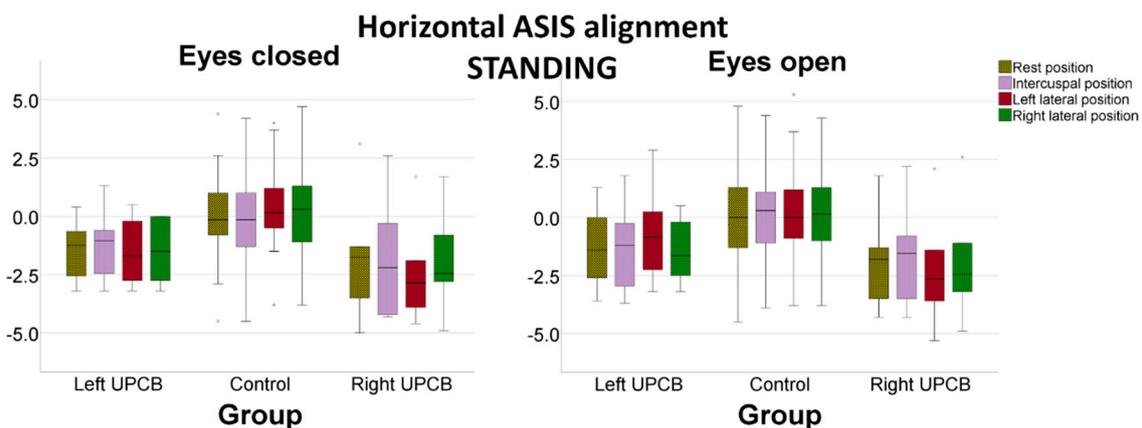
The side of the crossbite had no significant effect on the CT angle ( $p = 0.79$ ), even after controlling for visual input ( $p = 0.007$ ), mandibular position ( $p = 0.001$ ), standing/sitting position ( $p < 0.0005$ ) and projection ( $p = 0.175$ ). The mean estimated values for all participants in each mandibular position were as follows: resting,  $48.0^\circ$  (95%CI,  $46.6$ – $49.4^\circ$ ); ICP,  $47.6^\circ$  (95%CI  $46.2$ – $48.9^\circ$ ); left-lateral,  $49.0^\circ$  (95%CI  $47.7$ – $50.4^\circ$ ) and right lateral,  $49.0^\circ$  (95%CI  $47.6$ – $50.4^\circ$ ). However, the difference was  $4.1^\circ$  (95%CI  $3.3$ – $4.9^\circ$ ) higher when standing compared to sitting and  $0.5^\circ$  (95%CI  $0.1^\circ$ ;  $0.8^\circ$ ) higher with open eyes than with closed eyes.

Finally, the side of crossbite was unrelated to weight distribution ( $p = 0.830$ ) measured in the static postural platform. This remained when controlled for visual input ( $p = 0.492$ ) and mandibular

position ( $p = 0.338$ ). The means for the control, left UPCB and right UPCB groups were 48.13% (95%CI, 46.9%–49.4%), 48.55% (95%CI, 47.0%–50.1%) and 47.81% (95%CI, 45.7%–49.9%), respectively.



**Figure 2.** Horizontal acromion alignment ( $^{\circ}$ ), as controlled by visual input, by mandibular position and by standing/seated posture.



**Figure 3.** Horizontal anterior–superior iliac spine alignment ( $^{\circ}$ ), as controlled by visual input and by mandibular position.

#### 4. Discussion

Our results indicate that individuals with and without UPCB have differences in static body postures when viewed from the front. These differences amounted to 1–2 $^{\circ}$  in the horizontal alignment at the acromion and ASIS levels. Participants in the control group showed no balanced horizontal alignment of the acromions, achieving similar values to those reported elsewhere [18]. When assessing

body posture by frontal photogrammetry, we noted that reliability ranged from moderate to excellent and similar to that reported for sagittal projection in other studies [16,17]. Moreover, the observed differences in body posture were detected after controlling for visual input, mandibular position and standing/sitting position. Therefore, our results support the research finding that individuals with UPCB might have different body postures to individuals without UPCB [8].

Although the difference in static body posture between the UPCB and control groups was statistically significant, the magnitude of difference ( $1\text{--}2^\circ$ ) was relatively small and could be of only marginal clinical relevance. Furthermore, the range of measurement errors was close to the magnitude of this difference. Indeed, the difference may be attributable to physiological muscular asymmetry compatible with normal function [2,15,30,31]. Participants showed similar static body postures irrespective of whether their crossbite was on the left or right, similar to the observation that the degree of vertebral deviation correlated with the degree of mandibular deviation only when excluding direction [32]. Although the sample size was sufficient to find body posture differences in subjects with and without UPCB, the small number of participants in the right-side or left-side UPCB group might not have been large enough to find significant comparisons and the findings should be interpreted with caution. Correcting or accentuating the mandibular position to the crossbite side also had no effect on static body posture, indicating that momentarily eliminating the possible cause did not eliminate the effect. In fact, no clinically relevant changes on body posture have been observed after correcting for the UPCB in two longitudinal studies [33,34]. Finally, not all studies with different designs have showed similar results for the magnitude and direction of static body posture based on different malocclusions or mandibular positions [11,12,15,20,33]. Many of the factors that should be taken into account to support a cause–effect relationship between UPCB and body posture were not observed in the present study, which brings our findings in agreement with those of a review study [35].

It is possible that individuals with UPCB have a different upper body posture to controls, but that they maintain a similar weight distribution through their feet, as registered on the platform. The present results contrast with the theory of dental occlusion as a potential factor influencing postural adaptations and support the position that there is a lack of solid evidence for a correlation between dental and orthopedic findings [15,36]. Consequently, as reported elsewhere, there remains no scientific evidence that correcting UPCB can prevent or treat postural disorders or musculoskeletal problems [10,15,35]. A well-designed prospective study with appropriate controls is warranted to clarify the effect of crossbite correction on different aspects of body posture.

Interestingly, subjects with UPCB reported that they tended to chew more on the side of their crossbite. A similar tendency, though not significant, was reported in another study in which the chewing side preference was assessed qualitatively [5]. Other cross-sectional studies have found no relationships between the crossbite side and the preferred chewing side [6,7]. However, subjects with crossbite have showed alterations in both contact glide distances and masticatory cycle morphology [37,38]. Masticatory pattern and masticatory laterality are important aspects of masticatory function that are influenced by multiple central or peripheral factors [24–26,39,40]. UPCB may be one such factor, but to date, treatment for UPCB has not been shown to alter the masticatory cycle shape [37] or preferred chewing side [5]. Furthermore, the present study failed to find any relationship between UPCB laterality and other functional lateralities. Further studies with appropriate sample size would be required to clarify the association between UPCB laterality, masticatory asymmetry and other functional lateralities.

The present study has several limitations. For example, only the immediate effect of modifying mandibular position was evaluated, and we could not simulate the effects of permanent changes in mandibular position after correcting the UPCB. Moreover, masticatory laterality was only assessed subjectively by the participant.

## 5. Conclusions

The presence of UPCB is associated with different static body postures. However, not only may these differences be clinically irrelevant but also the side of crossbite shows no relationship to the side of deviation in static body posture. We also showed that UPCB might be associated with a tendency to chew more on the side of the crossbite, although the affected side was not associated with other functional lateralities.

**Author Contributions:** Conceptualization, J.Z.-H., M.C.-B., R.A.-M., E.W., and J.M.-G.; Methodology, R.A.-M., E.W., and J.M.-G.; Software, J.Z.-H. and J.M.-G.; Validation, M.C.-B., and R.A.-M.; Formal Analysis, R.A.-M., and J.M.-G.; Investigation, J.Z.-H., and M.C.-B.; Resources, R.A.-M., and J.M.-G.; Data curation, J.Z.-H., R.A.-M., and M.C.-B.; Writing—original draft preparation, R.A.-M., and J.M.-G.; Writing—review and editing, J.Z.-H., M.C.-B., R.A.-M., E.W., and J.M.-G.; Visualization, J.Z.-H., M.C.-B., R.A.-M., E.W., and J.M.-G.; Supervision, R.A.-M., and J.M.-G.; Project Administration, R.A.-M., and J.M.-G.; Funding Acquisition, R.A.-M., and J.M.-G. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research received no external funding.

**Acknowledgments:** The authors thank Michael Maudsley for editing the text. This research was partially funded by the School of Dentistry, University of Barcelona.

**Conflicts of Interest:** The authors declare that there are no potential conflicts of interest related to the publication of this paper.

## References

1. Farella, M.; Michelotti, A.; Iodice, G.; Milani, S.; Martina, R. Unilateral posterior crossbite is not associated with TMJ clicking in young adolescents. *J. Dent. Res.* **2007**, *86*, 137–141. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
2. Alarcón, J.A.; Martín, C.; Palma, J.C. Effect of unilateral posterior crossbite on the electromyographic activity of human masticatory muscles. *Am. J. Orthod. Dentofacial. Orthop.* **2000**, *118*, 328–334. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
3. Kilic, N.; Kiki, A.; Oktay, H. Condylar asymmetry in unilateral posterior crossbite patients. *Am. J. Orthod. Dentofacial. Orthop.* **2008**, *133*, 382–387. [[CrossRef](#)]
4. Nie, Q.; Kanno, Z.; Xu, T.; Lin, J.; Soma, K. Clinical study of frontal chewing patterns in various crossbite malocclusions. *Am. J. Orthod. Dentofacial. Orthop.* **2010**, *138*, 323–329. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
5. Michelotti, A.; Rongo, R.; Valentino, R.; D’Anto, V.; Bucci, R.; Danzi, G.; Cioffi, I. Evaluation of masticatory muscle activity in patients with unilateral posterior crossbite before and after rapid maxillary expansion. *Eur. J. Orthod.* **2019**, *23*, 46–53. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
6. Martín, C.; Alarcón, J.A.; Palma, J.C. Kinesiographic study of the mandible in young patients with unilateral posterior crossbite. *Am. J. Orthod. Dentofacial. Orthop.* **2000**, *118*, 541–548. [[CrossRef](#)]
7. Martínez-Gomis, J.; Lujan-Climent, M.; Palau, S.; Bizar, J.; Salsench, J.; Peraire, M. Relationship between chewing side preference and handedness and lateral asymmetry of peripheral factors. *Arch. Oral. Biol.* **2009**, *54*, 101–107. [[CrossRef](#)]
8. Ben-Bassat, Y.; Yitschaky, M.; Kaplan, L.; Brin, I. Occlusal patterns in patients with idiopathic scoliosis. *Am. J. Orthod. Dentofacial. Orthop.* **2006**, *130*, 629–633. [[CrossRef](#)]
9. Julià-Sánchez, S.; Álvarez-Herms, J.; Gatterer, H.; Burtscher, M.; Pagès, T.; Viscor, G. Dental Occlusion Influences the Standing Balance on an Unstable Platform. *Motor Control.* **2015**, *19*, 341–354. [[CrossRef](#)]
10. Michelotti, A.; Buonocore, G.; Farella, M.; Pellegrino, G.; Piergentili, C.; Altobelli, S.; Martina, R. Postural stability and unilateral posterior crossbite: Is there a relationship? *Neurosci. Lett.* **2006**, *392*, 140–144. [[CrossRef](#)]
11. Perinetti, G.; Contardo, L.; Silvestrini-Biavati, A.; Perdoni, L.; Castaldo, A. Dental malocclusion and body posture in young subjects: A multiple regression study. *Clin. (Sao Paulo)* **2010**, *65*, 689–695. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
12. Scharnweber, B.; Adjami, F.; Schuster, G.; Koop, S.; Natrup, J.; Erbe, C.; Ohlendorf, D. Influence of dental occlusion on postural control and plantar pressure distribution. *Cranio* **2017**, *35*, 358–366. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
13. Baldini, A.; Nota, A.; Tripodi, D.; Longoni, S.; Cozza, P. Evaluation of the correlation between dental occlusion and posture using a force platform. *Clin. (Sao Paulo)* **2013**, *68*, 45–49. [[CrossRef](#)]

14. Perinetti, G.; Contardo, L. Posturography as a diagnostic aid in dentistry: A systematic review. *J. Oral Rehabil.* **2009**, *36*, 922–936. [[CrossRef](#)]
15. Manfredini, D.; Castroflorio, T.; Perinetti, G.; Guarda-Nardini, L. Dental occlusion, body posture and temporomandibular disorders: Where we are now and where we are heading for. *J. Oral Rehabil.* **2012**, *39*, 463–471. [[CrossRef](#)]
16. Dimitriadis, Z.; Podogyros, G.; Polyviou, D.; Tasopoulos, I.; Passa, K. The Reliability of Lateral Photography for the Assessment of the Forward Head Posture Through Four Different Angle-Based Analysis Methods in Healthy Individuals. *Musculoskelet. Care* **2015**, *13*, 179–186. [[CrossRef](#)]
17. Ruivo, R.M.; Pezarat-Correia, P.; Carita, A.I. Intrarater and interrater reliability of photographic measurement of upper-body standing posture of adolescents. *J. Manip. Physiol. Ther.* **2015**, *38*, 74–80. [[CrossRef](#)]
18. Ferreira, E.A.; Duarte, M.; Maldonado, E.P.; Bersanetti, A.A.; Marques, A.P. Quantitative assessment of postural alignment in young adults based on photographs of anterior, posterior, and lateral views. *J. Manip. Physiol. Ther.* **2011**, *34*, 371–380. [[CrossRef](#)]
19. Sakaguchi, K.; Mehta, N.R.; Abdallah, E.F.; Forgione, A.; Hirayama, H.; Kawasaki, T.; Yokoyama, A. Examination of the relationship between mandibular position and body posture. *Cranio* **2007**, *25*, 237–249. [[CrossRef](#)]
20. Ohlendorf, D.; Seebach, K.; Hoerzer, S.; Nigg, S.; Kopp, S. The effects of a temporarily manipulated dental occlusion on the position of the spine: A comparison during standing and walking. *Spine. J.* **2014**, *14*, 2384–2391. [[CrossRef](#)]
21. Youssef, A.R. Photogrammetric quantification of forward head posture is side dependent in healthy participants and patients with mechanical neck pain. *Int. J. Physiother.* **2016**, *3*, 326–331. [[CrossRef](#)]
22. Rocha, T.; Castro, M.A.; Guarda-Nardini, L.; Manfredini, D. Subjects with temporomandibular joint disc displacement do not feature any peculiar changes in body posture. *J. Oral Rehabil.* **2017**, *44*, 81–88. [[CrossRef](#)]
23. Julià-Sánchez, S.; Álvarez-Herms, J.; Burtscher, M. Dental occlusion and body balance: A question of environmental constraints? *J. Oral Rehabil.* **2019**, *46*, 388–397. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
24. Rovira-Lastra, B.; Flores-Orozco, E.I.; Ayuso-Montero, R.; Peraire, M.; Martinez-Gomis, J. Peripheral, functional and postural asymmetries related to the preferred chewing side in adults with natural dentition. *J. Oral Rehabil.* **2016**, *43*, 279–285. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
25. Flores-Orozco, E.I.; Rovira-Lastra, B.; Peraire, M.; Salsench, J.; Martinez-Gomis, J. Reliability of a visual analog scale for determining the preferred mastication side. *J. Prosthet. Dent.* **2016**, *115*, 203–208. [[CrossRef](#)]
26. Houry-Ribas, L.; Ayuso-Montero, R.; Willaert, E.; Peraire, M.; Martinez-Gomis, J. Changes in masticatory laterality 3 months after treatment with unilateral implant-supported fixed partial prosthesis. *J. Oral Rehabil.* **2020**, *47*, 78–85. [[CrossRef](#)]
27. Lujan-Climent, M.; Martinez-Gomis, J.; Palau, S.; Ayuso-Montero, R.; Salsench, J.; Peraire, M. Influence of static and dynamic occlusal characteristics and muscle force on masticatory performance in dentate adults. *Eur. J. Oral Sci.* **2008**, *116*, 229–236. [[CrossRef](#)]
28. Ferreira, E.A.; Duarte, M.; Maldonado, E.P.; Burke, T.N.; Marques, A.P. Postural assessment software (PAS/SAPO): Validation and reliability. *Clin. (Sao Paulo)* **2010**, *65*, 675–681. [[CrossRef](#)]
29. Galvao, M.C.S.; Sato, J.R.; Coelho, E.C. Dahlberg formula – a novel approach for its evaluation. *Dent. Pressj. Orthod.* **2012**, *17*, 115–124. [[CrossRef](#)]
30. Ferrario, V.F.; Sforza, C.; Miani, A.; D’Addona, A.; Barbini, E. Electromyographic activity of human masticatory muscles in normal young people. Statistical evaluation of reference values for clinical applications. *J. Oral Rehabil.* **1993**, *20*, 271–280. [[CrossRef](#)]
31. Giannakopoulos, N.N.; Schindler, H.J.; Hellmann, D. Co-contraction behaviour of masticatory and neck muscles during tooth grinding. *J. Oral Rehabil.* **2018**, *45*, 504–511. [[CrossRef](#)]
32. Nakashima, A.; Nakano, H.; Yamada, T.; Inoue, K.; Sugiyama, G.; Kumamaru, W.; Nakajima, Y.; Sumida, T.; Yokohama, T.; Mishiama, K.; et al. The relationship between lateral displacement of the mandible and scoliosis. *Oral Maxillofac. Surg.* **2017**, *21*, 59–63. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
33. Lippold, C.; Moiseenko, T.; Drerup, B.; Schilgen, M.; Végh, A.; Danesh, G. Spine deviations and orthodontic treatment of asymmetric malocclusions in children. *Bmc Musculoskelet Disord.* **2012**, *13*, 151. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

34. Mason, M.; Spolaor, F.; Guiotto, A.; De Stefani, A.; Gracco, A.; Sawacha, Z. Gait and posture analysis in patients with maxillary transverse discrepancy, before and after RPE. *Int. Orthod.* **2018**, *16*, 158–173. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
35. Michelotti, A.; Buonocore, G.; Manzo, P.; Pellegrino, G.; Farella, M. Dental occlusion and posture: An overview. *Prog. Orthod.* **2011**, *12*, 53–58. [[CrossRef](#)]
36. Hanke, B.A.; Motschall, E.; Türp, J.C. Association between orthopedic and dental findings: What level of evidence is available? *J. Orofac. Orthop.* **2007**, *68*, 91–107. [[CrossRef](#)]
37. Throckmorton, G.S.; Buschang, P.H.; Hayasaki, H.; Pinto, A.S. Changes in the masticatory cycle following treatment of posterior unilateral crossbite in children. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2001**, *120*, 521–529. [[CrossRef](#)]
38. Rilo, B.; da Silva, J.L.; Mora, M.J.; Cadarso-Suárez, C.; Santana, U. Unilateral posterior crossbite and mastication. *Arch. Oral Biol.* **2007**, *52*, 474–478. [[CrossRef](#)]
39. Rovira-Lastra, B.; Flores-Orozco, E.I.; Salsench, J.; Peraire, M.; Martinez-Gomis, J. Is the side with the best masticatory performance selected for chewing? *Arch. Oral Biol.* **2014**, *59*, 1316–1320. [[CrossRef](#)]
40. Khoury-Ribas, L.; Ayuso-Montero, R.; Rovira-Lastra, B.; Peraire, M.; Martinez-Gomis, J. Reliability of a new test food to assess masticatory function. *Arch. Oral Biol.* **2018**, *87*, 1–6. [[CrossRef](#)]



© 2020 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).