ISSN 0325-1578
Rev. Asoc. Arg. Ortop. y Traumatol., Vol. 55, Nº 4, Págs. 491-503 15ª Sesión Ordinaria (27/11/1990

Biomecánica y electromiográfica del complejo codo-antebrazo

Dres. JORGE GUALTIERI, JUAN CARLOS MIGUEL, MAURICIO GLIKSTEIN,
Ings. JUAN MILAUSKI y JORGE CALISSE*

Resumen: *Se investigaron a través de estudios anatómicos, biomecánicos y electromiográficos comparativos, en flexión y extensión, las fuerzas musculares actuantes en el complejo codo-antebrazo.*

Se trata de indagar a través de los mismos cuál sería a priori la posición en que dichas fuerzas estabilizan el sector estudiado.

Resultante de ellos, se comprueba la influencia del biceps como estabilizador de la extremidad proximal, anulando las fuerzas rotatorias en dicho sector.

Dicho efecto se ejerce únicamente en extensión y supinación.

Summary: *The muscular forces, that intervene in the elbow-fore-arm complex, were investigated through anatomical, biomechanical and electromyographical methods.*

By these methods it was also studied the position at which these forces stabilize this area.

It was proved that the biceps stabilizes the proximal extremity and counteracts the rotatory strengths.

This effect is performed only at extension and supination.

* Grupo de Trabajo Interdisciplinario, Universidad Nacional de Rosario, Provincia de Santa Fe.

INTRODUCCION

Es de observación clínica que fracturas bien reducidas del tercio proximal y medio del antebrazo como las del tercio distal del húmero pierden la misma en el yeso braquipalmar con codo en flexión.

Esto nos motivó la realización de los presentes estudios, siendo los objetivos del mismo:

1) Identificar las fuerzas musculares actuantes en forma comparativa codo en flexión-codo en extensión. . . . . .

2) Determinar la posición de estabilización de los segmentos óseos.

MATERIAL Y METODO

Se encaró un estudio en conjunto con el Grupo de Trabajo Interdisciplinario de la Universidad Nacional de Rosario, obteniéndose datos de piezas fetales y adultas conservadas en seco con solución MAR IV. Se efectuó *in situ* el estudio de ejes y masas musculares en la posición propuesta (extensión-supinación, flexión, pronación intermedia); los mismos estudios fueron realizados sobre huesos articulados.

Además, para revelar la circulación estática en dichas posiciones se realizaron inyecciones con látex en miembros superiores de fetos y adultos, con el fin de observar la repleción de los vasos del antebrazo en estas posiciones.

Para investigar el aporte sanguíneo a

los huesos se estudió con lupa estereoscópica de visión tridimensional la disposición de los agujeros nutricios y periostiales de los huesos, en relación con las inserciones musculares.

En base al relevamiento morfológico de las respectivas estructuras óseas y musculares involucradas se procedió a la identificación de las acciones mecánicas predominantes relacionadas con la problemática en estudio, y a través del análisis estático del sistema osteomuscular del miembro superior en flexión y pronación intermedia.

Se realizaron estudios electromiográficos de los músculos que intervienen en los movimientos del antebrazo, en las posiciones de extensión y flexión de codo con antebrazo en supinación, pronación y pronosupinación intermedia.

ESTUDIO ANATOMICO

Se mencionarán únicamente los puntos enfrentados del estudio comparativo.

1. Grupos musculares

Estudio en flexión de codo

a) **Biceps**: presenta su momento óptimo como flexor del antebrazo. A nivel de la cabeza radial el mismo tendería a luxarla hacia arriba, efecto impedido por el ligamento anular, según lo menciona Kapandji.

b) **Supinador largo**: momento casi óptimo como flexor del antebrazo.

c) **Pronador redondo**: presenta su momento óptimo de palanca tanto para la pronación como secundariamente a los movimientos de flexión.

d) **Flexor común superficial**: no se alínean las masas musculares con los ejes óseos del miembro superior, por presentar el mismo un fascículo humeroepitroclear.

e) **Primer radial**: momento óptimo para la abducción de la mano.

f) **Triceps**: mayor tiempo de recuperación, por presentarse el mismo elongado.

Estudio en extensión de codo

a) El biceps efectúa el 70 % del trabajo de supinación. Presenta su polea inferior desenrollada, manteniendo fija la extremidad proximal del radio.

b) El supinador largo presenta en esta posición su momento disminuido.

c) El pronador redondo efectúa el 50 % del trabajo de pronación; el mismo se encuentra estirado, no presentando su mejor palanca, y es neutralizado por la acción pasiva de los anteriores.

d) y e) El flexor común superficial y el primer radial, reconociendo que en la posición de extensión y supinación los flexores del antebrazo trabajan a un tono mínimo con función suspensoria longitudinal alineando sus resultantes de fuerzas con los ejes del miembro superior.

f) El triceps en la posición propuesta es mucho más fácil de recuperar.

2. Membrana interósea

No se identificaron cambios significativos con las variaciones de flexoextensión de codo, siendo las mismas influenciadas por los movimientos pronosupinatorios del antebrazo, como se describió clásicamente.

3. Análisis de estructuras óseas y ejes

Estudios en flexión de codo

a) No existe posibilidad de que en dicha posición el eje fisiológico del miembro superior se aproxime a concordar con los ejes anatómicos de los tres huesos largos.

b) Existen músculos que no presentan sus ejes de acción alineados al eje mecánico del miembro superior.

Estudios en extensión de codo

a) Los ejes fisiológicos del miembro superior más se aproximan a concordar con los ejes anatómicos de los tres huesos largos.

b) La mayoría de los músculos presentan sus ejes de acción paralelos o casi paralelos al eje mecánico y se encuentran en posición de estiramiento.

4. Análisis de elementos arteriales, venosos y nerviosos

Con respecto a los mismos reconocemos que con el codo en flexión serían más susceptibles a eventuales compresiones o flexuosidades, lo que implicaría una alteración en la calidad del flujo. Dicha situación no se produce con codo en extensión, conservándose más rectilíneo.

CONCLUSIONES DEL ESTUDIO ANATOMICO

1) La posición de extensión y supinación permitiría neutralizar pasivamente la acción del pronador redondo. Esto se debe a que, en primer término, el mismo no presenta su momento óptimo de palanca como ocurre cuando el codo está en flexión, y en segundo término, el biceps se encuentra en condiciones de contrarrestarlas únicamente con su tono muscular.

2) Mejor estabilización de la extremidad proximal del radio al colocar el codo en extensión y supinación.

3) Más fácil rehabilitación, pues las actividades de la vida cotidiana se realizan en flexión y supinación.

4) En extensión y supinación se lograría alineación de masas musculares con ejes óseos.

5) Se lograría un mejor aporte sanguíneo al colocar el codo en extensión, pues los elementos vasculares se presentarían más rectilíneos.

ESTUDIO BIOQUIMICO

Dado el complejo de acciones musculares intervinientes es conveniente hablar de resultantes de fuerzas musculares, pudiendo dividir las mismas en:

1. Longitudinales estudiadas en flexión y extensión de codo.
2. Torsionales estudiadas en flexión y extensión de codo.

1. Fuerzas longitudinales

Codo en flexión: Existen en ese momento dos resultantes básicas.

Primero, las representadas por los músculos flexores, extensores, palmar mayor, palmar menor, cubital anterior y primer radial, las que tienen un sentido paralelo al eje mayor de los huesos del antebrazo.

La segunda resultante sería la que representa la acción de los biceps, braquial anterior y supinador largo, las cuales tenderían a seguir la proyección del eje mayor de húmero, siendo las mismas las que actuarían como fuerza de reacción a la fuerza gravitacional del antebrazo aumentada por el peso propio del yeso.

Del análisis de las mismas se deduce que existen dos resultantes de dirección perpendicular actuando en un mismo plano con intersección al codo.

Codo en extensión: Existe una resultante que la denominaremos R1 y está dada por la fuerza gravitacional del miembro, aumentada por el peso del yeso, de dirección paralela al eje total del miembro superior. A su vez se describe una segunda resultante, que actuaría como fuerza de reacción a la anteriormente descripta, que denominaremos RS y que está dada por las estructuras ligamentarias y musculares a través de su tono, de dirección paralela al eje del miembro pero de sentido contrario.

En la posición investigada las resultantes tienen una dirección casi paralela a los ejes del miembro pero con sentido contrario; en caso de existir una solución de continuidad se reconocería un efecto de compresión focal.

2. Fuerzas torsionales

Codo en flexión: Podríamos describir una fuerza torsional supinatoria, representada básicamente por el biceps que, con el codo en flexión, presenta su momento de máxima eficacia supinadora, sumada a la ejercida por el supinador corto.

Exiten también fuerzas torsionales pronatorias representadas fundamentalmente por el pronador redondo que, con el codo

en flexión, presentan momentos de palanca óptimos.

Podríamos decir entonces que la extremidad proximal y medial del radio es la zona de máximo momento tordente y, con el codo en flexión, las mismas tienen brazos de palanca y óptimos.

Codo en extensión: Si consideramos que el biceps en el presente esquema está representado por el resorte al llevar el codo a la extensión y supinación, podríamos reconocer dos fuerzas actuantes: la primera longitudinal (comentadas anteriormente) y las segundas rotacionales, dadas por los puntos de inserción inferior y superior.

Como en la posición en estudio el predominio es de las longitudinales, las segundas o rotacionales estarían anuladas como tales.

Las otras fuerzas torsionales que actuarían serían las que realiza el pronador redondo. Pero analizando el presente esquema, en donde se grafican las relaciones entre supinadores, representados por AB, y pronadores, representados por AP, podemos observar que existe un ángulo agudo de cruce entre las mismas en donde se equilibran los efectos de torsión en el punto de cruce con los volúmenes y longitudes musculares. Se observa un predominio de los efectos longitudinales sobre los transversales, dando una anulación de las fuerzas del pronador redondo.

1: Triceps. 2: Braquial anterior. 3: Biceps. 4: Supinador largo. 5: Pronador redondo. 6: Pronador cuadrado. 7: Supinador corto. 8: Ancómero. 9: Músculos del antebrazo. 10: Apoyo del yeso. A-A: Eje mecánico del antebrazo.

R_s: Resultante superio. R_i: Resultante inferior. Segmentos AA y BB: Ejes mecánicos. A_b: Acción del biceps. A_p: Acción del pronador.

CONCLUSIONES DEL ESTUDIO BIOMECANICO

1) El estudio de las fuerzas longitudinales indica que en extensión y supinación se lograría una alineación de los tonos musculares con los ejes del miembro, disminuyendo la posibilidad de producir desplazamientos óseos frente a una solución de continuidad de los mismos.

El peso del yeso actuaría en forma beneficiosa en extensión y supinación pues aumentaría la compresión de los fragmentos.

2) El ángulo de cruce entre fuerzas pronatorias y supinatorias, al estar el codo en extensión y supinación, determina equilibrio de las mismas.

Al llevar el codo a la felxión existirían fuerzas tordentes con momentos óptimos de fuerza.

ESTUDIO ELECTROMIOGRAFICO

Presentamos en el Cuadro 1 un resumen de los hallazgos efectuados y que nos permiten esbozar algunas conclusiones preliminares que coinciden con las hipótesis elaboradas en el apartado anatómico y biomecánico, como así también los electromiogramas obtenidos (electromiogramas 1 a 14).

CUADRO 1
RESUMEN DE LOS HALLAZGOS EFECTUADOS

Músculo	Posición antebrazo					
	Extensión sup.	Extensión int.	Extensión pronación	Flexión 90° sup.	Flexión 90° int.	Flexión 90° pronación
Supinador corto	–	–	–	+	+	+
Pronador redondo	–	+	+	+	+	++
Flexores	–	–	–	–	–	–
Extensores	+	+	–	+	+/–	–
Biceps	–	–	–	+/–	–	–
Triceps	–	–	–	–	–	–

Referencias: –: Actividad isoeléctrica o actividad muscular en reposo. +: Trazado interferencial con potenciales de unidad motora de amplitud y duración normal.

SUPINADOR CORTO

PRONADOR REDONDO
EXT. SUPINACION

SUPINADOR CORTO

PRONADOR REDONDO
EXT. INTERMEDIA

SUPINADOR CORTO

PRONADOR REDONDO
EXT. PRONACION

PRONADOR REDONDO
FLEX. 90° SUPINACION

SUPINADOR CORTO

PRONADOR REDONDO
FLEXION 90° INTERMEDIA

SUPINADOR CORTO

PRONADOR REDONDO
FLEXION 90° PRONACION

FLEXORES

EXTENSORES
EXTENSION SUPINACION

FLEXORES

EXTENSORES
EXTENSION INTERMEDIA

FLEXORES

EXTENSORES
EXTENSION PRONACION

FLEXORES

EXTENSORES
FLEXION 90° SUPINACION

FLEXORES

EXTENSORES
FLEXION 90° INTERMEDIA

FLEXORES

EXTENSORES 90° PRONACION

BICEPS Y TRICEPS EN TODAS LAS POSICIONES EN EXTENSION Y EN FLEXION DE CODO EN 90° INTERMEDIA Y PRONACION

TRICEPS

BICEPS
FLEXION 90° SUPINACION

CONCLUSIONES DEL ESTUDIO ELECTROMIOGRAFICO

1) En general podríamos decir que existe mucha menor actividad muscular en extensión de codo que en flexión.

2) La posición de máximo reposo muscular es en extensión y supinación, donde existe un equilibrio entre agonistas y antagonistas.

3) Las fuerzas tordentes, tanto supinatorias como pronatorias, presentan actividad con el codo en flexión.

4) En flexión de codo el biceps presenta actividad muscular, fenómeno que no ocurre cuando el mismo está en extensión.

CONCLUSIONES FINALES

1) La posición de estabilización ósea óptima sería en extensión y supinación.

Dicha posición logra alinear las resultantes de fuerzas con los ejes del miembro, bloquea las fuerzas tordentes y es la que

presenta la menor actividad muscular, indicando que los mismos actúan únicamente a través de su tonismo.

2) De las fuerzas musculares actuantes surge como importante la realizada por el biceps.

Dicho músculo posee un doble papel, estabilizando la extremidad proximal del radio y contrarrestando la acción del pronador redondo.

Según lo descripto en el apartado anatómico, decíamos que el solo hecho de colocar el codo en extensión y el antebrazo en supinación ponía al pronador redondo en un momento no óptimo de palanca, mientras que, contrariamente, la misma posición le permitía al biceps, a través únicamente de su tono muscular y un momento óptimo de palanca, bloquear la acción del primero.

El análisis biomecánico ratifica la afirmación anterior al describirnos el ángulo de cruce entre las resultantes pronatorias y supinatorias.

Por último, los estudios electromiográficos nos prueban que, en extensión y supinación, las fuerzas tanto pronatorias como supinatorias se encuentran en actividad isoeléctrica.

BIBLIOGRAFIA

Kapandji IA: Cuadernillos de fisiología articular. Ed Toray-Masson, Barcelona.
Latarjet-Ruiz Liard: Anatomía Humana. Ed Panamericana, Buenos Aires.
Wadsworth T: El codo. Ed El Ateneo, Barcelona.
Bruce J: Anatomía Quirúrgica. Ed Salvat.
Fernández Vocos A: Fracturas del antebrazo.
Bouchet-Cuilleret: Anatomía descriptiva, topográfica y funcional de miembros superiores. Ed Panamericana, Buenos Aires.
Rouviere H: Anatomía Humana. Ed Bailly-Bailliere, Madrid, 1974.
Testut-Latarjet: Tratado de Anatomía (9ª ed). Barcelona, 1958.
Orts-Llorca: Anatomía Humana. Ed Científico Médica, Barcelona, 1959.
Grav H: Anatomía Humana. Emecé, Buenos Aires.
Poitevin R, Pouliquen JC: Fracture des deux os de l avant-bras chez l'énfant. Rev Chir Orthop (Suppl II): 72, 1986.
Hughston J: Columbus. Fractures of the foramen. Symposium on Fractures of Both Bones of the Forearm. JBJS.
Gainor-Hardy: Forearm fractures treated in extension. J of Trauma 9 (2).
Basmajián: Electrofisiología de la acción muscular.

COMENTADOR

Dr. GUILLERMO DABBAH

Deseo agradecer a la Asociación Argentina de Ortopedia y Traumatología, y en especial a la Comisión Directiva, el alto honor de haber sido nombrado comentador del trabajo "Biomecánica y electromiográfica del complejo codo-antebrazo", realizado por los Dres. Glikstein, Gualtieri, Miguel y colaboradores.

Este trabajo, presentado en colaboración con los ingenieros Milauski y Calisse, muestra un profundo estudio con exámenes y evaluaciones, que van desde lo anatómico, pasando por la biomecánica, y se apoyan en lo electromiográfico de las lesiones del tercio distal de húmero hasta el tercio proximal y tercio medio del antebrazo.

Se hizo un meduloso análisis de distintas posiciones de inmovilización en flexión de codo con pronosupinación intermedia, que es la clásica forma de inmovilizar dicha articulación en las fracturas de esa zona, estudiando la posición en extensión de codo y supinación, que es la propuesta que efectúan en este trabajo.

Estos estudios parten de la observación clínica que han efectuado y que muestran que fracturas de esta zona, vecinas al codo, tanto proximales como distales al mismo, con cierta frecuencia pierden la reducción conseguida, al estar inmovilizadas dentro del yeso braquipalmar con codo en flexión de 90 grados y con el antebrazo en pronosupinación intermedia.

Su trabajo está avalado por distintos autores como Testut-Latarjet, Gray y Kapandji, que han demostrado que el biceps braquial es el principal músculo flexor del codo, siendo en forma secundaria supinador; que el supinador largo es flexor del codo y que en la pronación extrema actúa como supinador, y que por último el braquial anterior es exclusivamente flexor

del codo.

Se concluye expresando que todos los flexores del codo actúan con la máxima eficacia cuando el codo está en 90 grados de flexión. En tanto, con el codo en extensión actúa el triceps, resultando que la fuerza muscular es casi paralela a la dirección del brazo de palanca. La componente centrípeta es ineficaz y la componente tangencial es eficaz pero débil.

Además de ello, los pronadores, al estar el codo en extensión y supinación, se encuentran neutralizados por el biceps y los supinadores.

En extensión y supinación, tanto los ejes fisiológicos como los ejes anatómicos de los tres huesos largos son como más concuerdan, estando los músculos en ejes casi paralelos al eje mecánico del miembro.

Otro elemento a tener en cuenta sería el conocimiento de que el biceps, al ser llevado a la extensión y supinación, aporta una fuerza longitudinal y otra fuerza rotatoria. En la posición antedicha, el predominio de la fuerza longitudinal es tal que la fuerza rotatoria queda anulada (pronador redondo).

El estudio electromiográfico demostró que la actividad muscular es mínima en extensión y supinación comparándola con la flexión, posición en la que se nota máxima actividad pronosupinatoria, o sea actividad de torsión, y lo mismo sucede con el biceps en lo referente a su máxima actividad al estar el codo en flexión, cosa inversa a lo que se registra con el codo en extensión y supinación.

Todo esto justifica las conclusiones del presente trabajo, que finalmente llega a la determinación de que la posición óptima para inmovilizar este tipo de fracturas vecinas al codo, y para evitar los desplazamientos postreducción, sería en extensión y supinación.

Ratificando esto, la electromiografía demostró que los músculos pronosupinatorios se hallan en actividad isoeléctrica.

Esta nueva propuesta no invalida el criterio tradicional y ortodoxo con la inmovilización en la posición clásica, y además nos plantea la observación sobre si afectará o no la movilidad posterior del codo al haber permanecido el mismo en extensión.

Muchas gracias.

DISCUSION

Dr. Alfredo Guerrini: Felicitamos a los comunicantes por su trabajo. Queremos contribuir con lo observado por algunos autores americanos, quienes emplean la posición de extensión y supinación de codo para la reducción-contención de las fracturas de antebrazo en los niños.

La interpretación de esta posición estaba dada, no a través del efecto muscular sinérgico demostrado en el trabajo que hoy vemos, sino por la elongación de la membrana interósea, que al hacerla repone los desplazamientos, manteniendo esta posición por tensión, gracias a la extensión y supinación del yeso.

Esta técnica la empleamos en escasos casos, no estando en condiciones de evaluar su eficacia, pero cuando lo hicimos temíamos la vascularización, así que el yeso se hizo sobre tubuladura, dejando un espacio virtual vecino a los zonas de movilidad, que permitiera su apertura si fuera necesaria.

Dr. Salomón Glikstein: En las fracturas que han sido tratadas en este Servicio, que servirán para ser tratadas en un trabajo futuro, el control vascular es perfecto, no hubo ningún trastorno en este aspecto, y la movilidad del codo ha sido sumamente libre y no han habido problemas que sean resaltables por esta posición, que indudablemente está rompiendo con un esquema clásico. Pero, como ustedes habrán visto, al comienzo, un antebrazo perfectamente reducido y está inmovilizado por la posición clásica, y tenemos luego una deformidad que de alguna manera queríamos explicar.

CIERRE DE DISCUSION

Dr. Jorge Gualtieri: Agradezco las palabras del comentador, Dr. Dabbah. Y que-

ríamos aclarar que la presentación que hicimos lo fue con la intención de debatir el tema en una charla como la que se dio, e intentar modificar algún concepto medianamente clásico.

Como el Dr. Glikstein decía, el tiempo de recuperación en los pacientes nuestros es mínimo. Hay niños que, ni bien se les saca el yeso, en el mismo momento lo recuperan a 90 grados, casi con una recuperación inmediata.

Lo que también a nosotros nos planteaba dudas era la posición de los edemas por yeso, al estar el miembro en extensión completa, pensábamos que podían aparecer complicaciones posteriores; pero les puedo asegurar que los edemas que hemos encontrado se han debido a errores en la confección del yeso, y en una casuística no demasiado importante, siendo unos casi 50 casos, debemos haber abierto unos cuatro o cinco yesos, siendo esto por el mismo error mencionado.

Con respecto a la compresión arterial, quería aclarar que nosotros hacemos un moldeado de toda la membrana interósea y tratamos de dar un apoyo distal a nivel de la muñeca y el moldeado de la membrana. Haciendo esto, aún así no hemos tenido complicaciones.

Muchas gracias.