

# Resistência à Torção e à Flexão de Ossos Metacarpais Humanos: Estudo Experimental

Ricardo Nogueira Bezerra<sup>1</sup>  
Fernando Antônio Gomes de Andrade<sup>2</sup>  
Glauco Manso<sup>3</sup>  
Ronaldo Jorge Azze<sup>4</sup>  
Cláudio Cavalcanti<sup>5</sup>  
Priscila Kuriki Vieira Mota<sup>6</sup>  
Regina Pacis Nogueira do Nascimento<sup>6</sup>

- 1] Professor Adjunto da Universidade Federal de Alagoas.
- 2] Professor Assistente da Universidade Federal de Alagoas. Chefe do Serviço de Cirurgia Plástica Reconstructora do Hospital Universitário (UFAL). Membro titular da Sociedade Brasileira de Cirurgia Plástica.
- 3] Chefe do Departamento de Cirurgia da Universidade Federal de Alagoas.
- 4] Professor Titular da Universidade de São Paulo.
- 5] Professor Visitante da Universidade Federal de Alagoas.
- 6] Estudantes de Medicina da Universidade Federal de Alagoas.

Dept. Clínica Cirúrgica - Disciplina de Cirurgia Plástica Reconstructora – Prof. Dr. Fernando Antônio Gomes de Andrade

**Endereço para correspondência:**

Centro de Saúde (CSAU)  
Campus Universit. A. C. Simões BR 101 Norte Km 14  
Maceió – AL  
57081-000

Fone/fax: (82) 221-5081

**Unitermos:** Mão; ossos metacarpais; estudo experimental.

## RESUMO

*Foram estudados 80 ossos metacarpais, do 2º ao 5º, de 20 mãos de cadáveres humanos formolizados, com média de idade de 44 anos, variando de 20 a 62 anos. Quarenta ossos metacarpais serviram para testes de torção e 40 outros, para teste de flexão em máquina universal de ensaios mecânicos. Objetivamos determinar a resistência dos ossos metacarpais e comparar a precisão dos ensaios de torção e de flexão. A resistência dos ossos metacarpais à flexão foi aproximadamente quatro vezes maior do que à torção. Os dois ensaios exibiram idêntica precisão estatística. O 2º e o 3º ossos metacarpais, em ambos os testes, foram cerca de duas vezes e meia mais resistentes que o 4º e o 5º.*

## INTRODUÇÃO

Neste estudo objetivamos conhecer a resistência dos ossos metacarpais no intuito de obter elementos que auxiliarão no dimensionamento de seus materiais de osteossíntese, contribuindo assim para o aperfeiçoamento biomecânico desses materiais.

## MATERIAL E MÉTODO

Foram utilizados 80 ossos metacarpais, do 2º ao 5º, de 10 pares de mãos de cadáveres humanos formolizados. Cinco pares de mãos prestaram-se a testes de torção e os 5 outros, aos testes de flexão. A idade dos cadáveres oscila de 20 a 62 anos, com média de 44 anos  $\pm$  13,50. Todas as mãos foram oriundas de cadáveres do sexo masculino. Os metacarpais foram medidos, pesados e inspecionados visual e radiograficamente, pré e pós-ensaios.

Todos os testes foram executados em máquina universal de ensaios mecânicos *Kratos K5002*, dotada de célula de carga eletrônica e registrador gráfico. Adotou-se a velocidade de aplicação de carga de 20mm/min.

### ENSAIOS DE TORÇÃO

No ensaio de torção, empregou-se roda dentada e corrente. Uma garra especialmente desenvolvida foi acoplada à roda dentada axialmente, sendo aí fixada uma das extremidades do osso metacarpal. Em sistema telescópico solidário à base do dispositivo, foi montada concentricamente uma segunda garra, idêntica à anterior, o que permitiu a fixação da outra extremidade óssea, de acordo com o comprimento necessário à fixação. Tal sistema assegurou que as medidas de resistência e deformação angulares dos ossos metacarpais fossem obtidas por relações de resistência e deformação linear, conseguidas automaticamente pelo equipamento, o que autorizou inclusive o acompanhamento gráfico de todas as provas, através de registrador gráfico, obtendo-se assim os diagramas carga *versus* deformação de cada prova. A influência de cada peso da corrente e do atrito foi determinada em teste de calibração em vazio e deduzida nos valores finais.

#### Ensaio de flexão

Para os ensaios de flexão, optou-se pela flexão simples biapoiada. Esses testes foram realizados com cutelo centralizado. Os apoios foram fixados a uma

morsa, que também permitia a regulação do comprimento útil (comprimento do osso metacarpal entre apoios). Os ossos metacarpais foram apoiados em duas barras metálicas, com superfícies cilíndricas giratórias, distantes paralelamente. O cutelo metálico utilizado tem a forma semicilíndrica, com ângulo de abertura de 55 graus.

## MOMENTOS E DEFORMAÇÕES ANGULARES

Obtivemos registros gráficos de carga (kgf) *versus* deformação (mm) em ambos os ensaios. A partir desses resultados, calculamos os momentos e as deformações angulares virtuais em função das seguintes relações:

√ Torção

√ Relações obtidas

◆ Para cálculo dos esforços:

$M = Fr$ , em que  $M$  = momento torcional (kgf x mm);  $F$  = força medida pela máquina (kgf);  $r = D/2 = 138/3 = 69$  mm, braço de alavanca da roda dentada.

◆ Para cálculo do momento torcional:

$MT = M - M'$ , em que  $MT$  é o momento torcional corrigido (kgf/mm);  $M$  = momento torcional obtido (kgf/mm);  $M'$  = momento torcional gerado pelo peso da corrente e pelo atrito.

◆ Para cálculo da deformação angular torcional:

$\theta = d/K$ , em que  $\theta$  = deformação angular (em graus);  $d$  = deformação linear (mm),  $K$  = constante de proporcionalidade (graus/mm).

## FLEXÃO

O comprimento útil foi  $L/2$ , com os apoios posicionados em  $L/4$  e  $3L/4$ , da mesma maneira que nos ensaios de torção. O momento fletor foi calculado segundo a equação:

$$M = \frac{F \times L_{\text{útil}}}{2} = \frac{F \times L}{4}$$

em que F foi obtido a partir dos diagramas e o comprimento útil, como nos ensaios de torção.

Com o osso metacarpal apoiado na sua superfície dorsal, posicionamos o cutelo sobre a superfície volar. O ângulo de flexão virtual foi calculado pela seguinte expressão:  $\theta = \arctg(2d/L_{\text{útil}})$ , em que d = deformação ou flecha, verificada no comprimento útil, e  $L_{\text{útil}}$  = comprimento do osso metacarpal entre apoios.

Para análise estatística, adotou-se nível de significância de 5% ( $p = 0,05$ ).

## DISCUSSÃO

São raros os trabalhos sobre caracterização mecânica de ossos humanos na literatura. Não encontramos trabalhos especificamente a respeito de comparações entre testes de torção e de flexão em ossos metacarvais. Escolhemos proceder a esses ensaios porque a maioria das fraturas em ossos longos resulta de esforços de torção ou flexão.

Utilizamos ossos preservados em formol, porque levamos em conta, principalmente, a resistência à ruptura, que não sofre alteração significativa nesse método de conservação<sup>(3)</sup>. Verificamos que, do 2º ao 5º, os metacarvais apresentaram elasticidade semelhante. O ângulo médio de torção e de flexão não exibiu diferença estatisticamente significativa.

Quanto à resistência, no ensaio de torção, constatou-se que o 2º e o 3º ossos metacarvais assemelharam-se entre si, sendo estatisticamente superiores ao 4º e ao 5º, também similares entre si.

Nos ensaios de flexão, quanto à resistência, o 2º e o 3º ossos metacarvais também se apresentaram semelhantes e superiores ao 4º e ao 5º. Da mesma maneira, o 4º e o 5º ossos metacarvais apresentaram resistências semelhantes.

Peters & Koebke<sup>(2)</sup> mediram a resistência à torção, do 2º ao 5º ossos metacarvais, em 50 pares de mãos hu-

manas. Frisaram que em razão da posição específica do eixo radioulnal, através das cabeças dos ossos metacarvais, a mão pode ser dividida em três unidades funcionais: o polegar, o índice e o médio e o anular e mínimo. Mostraram que dentro dessa unidade funcional há duas intersecções separadas: uma para o 2º e o 3º ossos metacarvais e a outra para o 4º e o 5º, o que lhes permite terem comportamentos e resistências à torção, o que igualmente fora constatado nesta tese.

Bezerra<sup>(1)</sup>, em dissertação de mestrado intitulada *Resistência à Tração dos Tendões Flexores da Mão*, concluiu que os tendões flexores superficiais e profundos do 2º e do 3º dedos são mais resistentes do que aqueles do 4º e do 5º.

Tabela I		
	Teste de Kruskal-Wallis	Testes de comparações múltiplas modificados por Dunn
Momento torcional	H = 27.8	$p = 3.9 \times 10^{-6}$ 2 <sup>nd</sup> >4 <sup>th</sup> , 2 <sup>nd</sup> >5 <sup>th</sup> , 3 <sup>rd</sup> >4 <sup>th</sup> , 3 <sup>rd</sup> >5 <sup>th</sup>
Momento fletor	H = 27.2	$p = 0^*$ 2 <sup>nd</sup> >5 <sup>th</sup> , 3 <sup>rd</sup> >4 <sup>th</sup> , 3 <sup>rd</sup> >5 <sup>th</sup>
Deformação angular por torção	H = 0.395	$p = 0.94$ —————
Deformação angular por flexão	H = 2.03	$p = 0.23$ —————
Comparação dos metacarvais relacionados.		

Tabela II					
Metacarvais					
		II	III	IV	V
Momento torcional (kgf/mm)	M±DP CV	619±154 24.8	615±130 21.1	264±99 37.4	22±98 44.1
Momento fletor (kgf/mm)	M±DP CV	2.267±578 25.5	2.390±534 22.4	1.369±285 20.8	920±213 23.1
Deformação angular por torção (°)	M±DP CV	16.6±5.9 35.6	19.2±13.5 70.1	17.4±6.7 38.7	20.0±16.4 82.0
Deformação angular por flexão (°)	M±DP CV	10.7±2.4 22.5	10.2±2.7 26.3	9.82±1.6 15.8	10.0±4.2 42.0
M = média DP = desvio padrão CV = coeficiente de variação					
Resultados da resistência e elasticidade dos ossos metacarvais.					

Tabela III				
Eventos Y X	GL	r <sub>crítico</sub>	r <sub>obtido</sub>	Equação
M torcional X massa	38	0.3125	0.3447*	Y = 78.3+54.2X
M fletor X massa	38	0.3125	0.6321*	Y = 622.3+165.2X
M torcional X comprimento	38	0.3152	0.6898*	Y = 910.4+20.6X
M fletor X comprimento	38	0.3125	0.6750*	Y = 1.134.2+44.8X
M torcional X O médio	38	0.3125	0.6012*	Y = 471.5+112.6X
M fletor X O médio	38	0.3125	0.3570*	Y = 252.8+184.9X
Correlações significantes e regressões lineares.				

Neste estudo, verificou-se que o 2º e o 3º ossos metacarpais apresentaram-se mais resistentes que o 4º e o 5º, provavelmente porque os primeiros são mais solicitados para funções que demandam maior esforço, como apreensão e sustentação de pesos. Já os ossos metacarpais 4º e 5º exercem mormente a função de apoio durante as variadas tarefas executadas pelas mãos. A comparação entre a referida dissertação e esta tese realçou a resistência dos respectivos tendões flexores.

Os ensaios de torção têm a mesma variação do que os de flexão. Assim, pode-se dizer que os ensaios, tanto de torção como de flexão, apresentam a mesma precisão ou repetibilidade.

Faz-se mister salientar que os ensaios de flexão foram de execução técnica mais simples, mais prática e mais rápida que os de torção.

A resistência dos ossos metacarpais à flexão foi muito maior que à torção.

No 2º e no 3º ossos metacarpais, foi maior cerca de três vezes e meia; até quase cinco vezes maior no 4º osso metacarpal e, no 5º, a diferença foi de aproximadamente quatro vezes.

Quanto à massa, comprimento e diâmetro médio dos ossos metacarpais, o 2º e o 3º equivalem-se; o 4º e o 5º também, formando assim dois grupos bem diferenciados.

O estudo das características mecânicas de resistência e elasticidade de ossos metacarpais de cadáveres humanos poderá fornecer elementos que auxiliem no dimensionamento mais adequado dos materiais de osteossíntese, o que possibilitará ao paciente melhor e mais conveniente reabilitação.

## CONCLUSÕES

Os ossos metacarpais são, aproximadamente, quatro vezes mais resistentes à flexão que à torção.

Em ambos os ensaios, o 2º e o 3º ossos metacarpais mostram-se cerca de duas vezes e meia mais resistentes que o 4º e o 5º.

Os resultados dos ensaios de torção e de flexão revelam a mesma precisão.

## BIBLIOGRAFIA

Vide página 58.