

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**FACULDADE DE MEDICINA**

**GUSTAVO BERSANI SILVA**

**Comparação entre nervos doadores para transferência muscular funcional  
livre do músculo grácil para flexão do cotovelo em pacientes com lesão  
traumática do plexo braquial**

São Paulo

2024



**GUSTAVO BERSANI SILVA**

**Comparação entre nervos doadores para transferência muscular funcional  
livre do músculo grácil para flexão do cotovelo em pacientes com lesão  
traumática do plexo braquial**

Tese apresentada à Faculdade de Medicina da  
Universidade de São Paulo para obtenção do  
título de Doutor em Ciências

Programa de Ciências do Sistema  
Musculoesquelético

Orientador: Prof. Dr. Teng Hsiang Wei

São Paulo

2024

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Preparada pela Biblioteca da  
Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

©reprodução autorizada pelo autor

Silva, Gustavo Bersani

Comparação entre nervos doadores para transferência muscular funcional livre do músculo grácil para flexão do cotovelo em pacientes com lesão traumática do plexo braquial / Gustavo Bersani Silva; Teng Hsiang Wei, orientador. -- São Paulo, 2024.

Tese (Doutorado) -- Programa de Ciências do Sistema Musculoesquelético. Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, 2024.

1.Transferência muscular funcional livre 2.Lesão do plexo braquial 3.Microcirurgia 4.Músculo grácil I.Wei, Teng Hsiang, orient. II.Título

USP/FM/DBD-339/24

Responsável: Daniela Amaral Barbosa, CRB-8 7533

*Aos meus pais, Jorge e Sandra, e ao meu irmão, Daniel,  
pelos exemplos, pelos ensinamentos e pelo carinho.  
À minha esposa Ellen,  
pelo amor e companheirismo em todas as horas.  
Aos meus filhos Augusto e Cecília,  
razão do meu existir.*

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Teng Hsiang Wei, Professor Livre-Docente do Instituto de Ortopedia e Traumatologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, Chefe do Grupo de Microcirurgia do IOT HC/FMUSP, meu mentor em microcirurgia, pelas inúmeras oportunidades, pela orientação constante e pelo exemplo de capacidade.

Ao Prof. Dr. Rames Mattar Jr., Professor Livre-Docente do Instituto de Ortopedia e Traumatologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, pelo exemplo de capacidade, pela confiança, pelo apoio constante e pelo amor à instituição.

Ao Prof. Dr. Marcelo Rosa de Rezende, Professor Livre-Docente do Instituto de Ortopedia e Traumatologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, Chefe do Grupo de Mão do IOT HC/FMUSP, pela confiança, pelo apoio constante e pelo exemplo de capacidade.

Aos Profs. Olavo Pires de Camargo, Tarcísio E. P. De Barros Filho e Alexandre Fogaça Cristante, por coordenar esta instituição, permitindo o desenvolvimento de novas gerações de ortopedistas.

À Irmandade da Santa Casa de Misericórdia de São Paulo e à Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo, por permitirem meu aperfeiçoamento profissional e acadêmico naquela instituição.

Ao Dr. Caio Zamboni, Mestre e Doutor pelo Departamento de Ortopedia e Traumatologia da Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo e Professor Instrutor da Faculdade, pelo companheirismo, pela amizade, pelos ensinamentos e pelo exemplo de caráter.

À Prof. Dra. Anne Agur, Chefe da Divisão de Anatomia do Departamento de Cirurgia da Faculdade de Medicina da Universidade de Toronto, e Dr. John Tran, Supervisor desta Divisão, pela inspiração, pelo estímulo constante, pelo auxílio e pela paciência durante o período de disseções.

Aos Drs. André Fernandes Pires, Diego Figueira Falcochio e Tiago Guedes da Motta Mattar, pela amizade, compreensão, paciência e troca de conhecimentos, que nos fizeram crescer.

Aos amigos, Dr. Álvaro B. Cho, Dr. Antônio Augusto N. de Abreu, Dr. Bruno de B. C. de Souza, Dra. Danielle T. Simão, Dr. Edgard de Novaes F. Bisneto, Dra. Eliana Setani, Dr. Emygdio José L. de Paula, Dr. Erick Yoshio Wataya, Dra. Fernanda do Carmo Iwase, Dr. Hugo A. Nakamoto, Dr. João Carlos Nakamoto, Dr. Leandro Y. Kiyohara, Dr. Luciano Ruiz Torres, Dr. Luis Koiti Kimura, Dr. Luiz Sorrenti, Dr. Mateus Saito, Dr. Maurício P. Rodrigues, Dra. Raquel B. Iamaguchi da Costa, Dra. Renata G. Paulos, Dr. Sérgio Y. Okane, Dr. Thiago Felipe dos Santos Barros, com os quais compartilho as recompensas das atividades do Grupo de Cirurgia da Mão e Microcirurgia do IOT HC/FMUSP.

Aos Drs. Bryan Sotto Padilla e Robin Villegas Silva, pelo inestimável auxílio na coleta de dados. Sem esta ajuda este estudo não seria possível.

Aos residentes e ex-residentes do Grupo de Cirurgia da Mão e Microcirurgia do Instituto de Ortopedia e Traumatologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, pelo estímulo diário.

Ao Sr. Henry Dan Kiyomoto, estatístico, pela paciência e disponibilidade durante a confecção desta dissertação.

À Sra. Valquíria Dias, pela revisão e formatação do texto, disponibilidade e paciência.

Às secretárias da Pós-Graduação do IOT HC/FMUSP, Tânia Borges e Rosana Moreno Costa, pelo auxílio e pela orientação durante todo este período.

À memória de todos os cadáveres utilizados nas disseções anatômicas.

A todas as pessoas que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização desta tese.

**Muito obrigado a todos!**

*“Por três métodos podemos aprender a sabedoria: primeiro, por reflexão, que é a mais nobre; segundo, por imitação, que é mais fácil; e terceiro, pela experiência, que é a mais amarga.”*

**CONFÚCIO (551- 479 a.C.)**

## NORMALIZAÇÕES ADOTADAS

Esta tese está de acordo com as seguintes normas, em vigor no momento desta publicação:

Referências: adaptado de *International Committee of Medical Journals Editors* (Vancouver).

Universidade de São Paulo. *Diretrizes para apresentação de dissertações e teses da USP: parte IV (Vancouver) / Sistema Integrado de Bibliotecas da USP*; Vânia Martins Bueno de Oliveira Funaro, coordenadora; Maria Claudia Pestana; Maria Cristina Cavarette Dziabas; Eliana Maria Garcia; Maria Fatima dos Santos, Maria Marta Nascimento; Suely Campos Cardoso. 3a ed. ed. amp. mod. São Paulo: SIBI/USP. 2016. (Caderno de estudos).

Abreviaturas dos títulos dos periódicos de acordo com *List of Journals Indexed in Index Medicus*.

Nomes das estruturas anatômicas baseados na Terminologia Anatômica, aprovada em 1998 e traduzida pela Comissão de Terminologia Anatômica da Sociedade Brasileira de Anatomia - CTA-SBA. 1a ed. (Brasileira) São Paulo, Editora Manole 2001. 248p.

Vocabulário ortográfico da Língua Portuguesa, 5a edição, 2009, elaborado pela Academia Brasileira de Letras, em consonância com o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa, promulgado pelo Decreto no 6583/2008.

Estrutura de apresentação dos dados baseada em: Des Jarlais DC, Lyles C, Crepaz N; TREND Group. Improving the reporting quality of nonrandomized evaluations of behavioral and public health interventions: the TREND statement. *Am J Public Health*. 2004 Mar;94(3):361-6.

## RESUMO

Bersani Silva G. Comparação entre nervos doadores para transferência muscular funcional livre do músculo grácil para flexão do cotovelo em pacientes com lesão traumática do plexo braquial [tese]. São Paulo: “Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo”; 2024.

**INTRODUÇÃO:** A lesão do plexo braquial pode determinar sequelas importantes para o paciente, e a restituição da flexão do cotovelo é prioridade no tratamento cirúrgico desta lesão. A transferência muscular funcional livre é opção na falha do tratamento precoce ou tardio das lesões traumáticas do plexo braquial. Este estudo avaliou características dos pacientes e a força muscular de flexão do cotovelo após transferência muscular funcional livre que utilizou os nervos espinhal acessório, fascículos dos nervos ulnar e mediano, nervo intercostal e frênico como doadores. Estes nervos foram comparados no que se refere à força muscular de flexão do cotovelo final obtida. Paralelamente à análise da série de casos foi realizado estudo anatômico tridimensional comparando a arquitetura dos músculos grácil e bíceps braquial. **MÉTODOS:** Prontuários de 113 pacientes, operados de 2003 a 2022, foram analisados e as seguintes variáveis registradas: idade, sexo, mecanismo de trauma, lateralidade da lesão, nível da lesão, transferência de nervo utilizada para inervar o músculo grácil, tempo entre o trauma e o procedimento cirúrgico, idade do paciente no ato cirúrgico, força de flexão do cotovelo após um mínimo de 12 meses da transferência muscular livre, além de observações relevantes (complicações, cirurgias secundárias, etc.). Três músculos grácil e três bíceps foram dissecados, digitalizados e reconstruídos em 3D para comparação. **RESULTADOS:** Foram incluídos no estudo 109 pacientes, com idade média de 30 anos (17-57 anos). Sessenta e nove pacientes (63,3%) obtiveram força muscular de flexão de cotovelo  $\geq$  M3, tendo sido operados em média 38,7 meses após a lesão. Os nervos utilizados para ativação do músculo grácil foram: 65 espinhais acessórios, 10 intercostais, 10 fascículos do n. mediano, 21 fascículos do n. ulnar e três frênicos. Transferências que utilizaram o nervo frênico apresentaram força muscular útil ( $\geq$  M3) em 33,3% dos casos; os que utilizaram intercostal obtiveram 60%; fascículos do nervo mediano 40%; fascículos do nervo ulnar 61,9% e nervo espinhal acessório alcançou 69,2% de casos com flexão do cotovelo  $\geq$  M3. O estudo anatômico permitiu comparar o comprimento dos feixes de fibras, ângulo de penação e área de secção transversal fisiológica dos músculos, definindo que estes valores são comparáveis. **CONCLUSÕES:** A transferência livre do músculo grácil nas lesões traumáticas do plexo braquial é técnica cirúrgica confiável para obtenção de flexão do cotovelo nas lesões crônicas em adultos. Não identificamos diferença no que se refere à força de flexão do cotovelo, quando se comparam os diferentes nervos doadores estudados (espinhal acessório, ulnar, mediano, intercostais e nervo frênico). Concluimos, também, que a dissecação, digitalização e reconstrução tridimensional dos músculos grácil e bíceps é técnica viável para a comparação de parâmetros anatômicos entre estas estruturas.

**Palavras-chave:** Transferência muscular funcional livre. Lesão do plexo braquial. Microcirurgia. Músculo grácil.

## ABSTRACT

Bersani Silva G. Comparison between donor nerves transferred to the free functional gracilis muscle flap for elbow flexion in traumatic adult brachial plexus injuries [thesis]. São Paulo: “Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo”; 2024.

**INTRODUCTION:** Brachial plexus injuries often result in substantial sequelae, with the restoration of elbow flexion being a key objective in the surgical management of these injuries. When initial or delayed treatment of traumatic brachial plexus injuries proves unsuccessful, free functional muscle transfer presents a viable alternative. This study assessed patient characteristics and elbow flexion strength following free functional gracilis transfer, utilizing the spinal accessory nerve, fascicles of the ulnar and median nerves, intercostal nerve and phrenic nerve as donors. The study further compared the donor nerves in terms of the final elbow flexion strength achieved. Simultaneously with the case series analysis, a three-dimensional anatomical study was conducted to compare the architecture of the gracilis and biceps brachii muscles. **METHODS:** The medical records of 113 patients who underwent surgery between 2003 and 2022 were analyzed, and the following variables were recorded: age, sex, trauma mechanism, laterality, injury level, nerve transfer used to reinnervate the gracilis muscle, time between trauma and surgical procedure, patient age at the time of surgery, elbow flexion strength after a minimum of 12 months following the free muscle transfer, as well as relevant observations (complications, secondary surgeries, etc.). Three gracilis and three biceps brachii muscles were dissected, digitized, and reconstructed in 3D for comparison. **RESULTS:** A total of 109 patients were included in the study, with a mean age of 30 years (ranging from 17 to 57 years). Sixty-nine patients (63.3%) achieved elbow flexion muscle strength of  $\geq$  M3, with surgery being performed on average 38.7 months after the injury. The nerves used to reinnervate the gracilis muscle included 65 spinal accessory nerves, 10 intercostal nerves, 10 fascicles of the median nerve, 21 fascicles of the ulnar nerve, and three phrenic nerves. Transfers using the phrenic nerve resulted in useful muscle strength ( $\geq$  M3) in 33.3% of cases; intercostal nerve 60%; fascicles of the median nerve 40%; fascicles of the ulnar nerve 61.9% and the spinal accessory nerve resulted in 69.2% of cases with elbow flexion  $\geq$  M3. The anatomical study allowed for a comparison of the fiber bundle length, pennation angle, and physiological cross-sectional area of the muscles, defining they are comparable. **CONCLUSIONS:** Free gracilis muscle transfer in traumatic brachial plexus injuries is a reliable surgical technique for achieving elbow flexion in chronic adult cases. No differences in elbow flexion strength were identified when comparing the different donor nerves studied (spinal accessory, ulnar, median, intercostal, and phrenic nerves). We also concluded that the dissection, digitization, and three-dimensional reconstruction of the gracilis and biceps muscles is a viable technique for comparing anatomical parameters between these structures.

**Keywords:** Free functional muscle transfer. Brachial plexus injury. Microsurgery. Gracilis muscle.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 -</b>	Transferência muscular funcional livre do músculo grácil para o bíceps braquial.....	18
<b>Figura 2 -</b>	Primeira transferência livre do m. grácil .....	24
<b>Figura 3 -</b>	Primeira transferência funcional livre do m. grácil para tratamento de paralisia facial em dois pacientes .....	25
<b>Figura 4 -</b>	Retalho funcional do m. grácil .....	26
<b>Figura 5 -</b>	Série de Ikuta de transferências musculares funcionais livres .....	27
<b>Figura 6 -</b>	Classificação dos retalhos musculares.....	28
<b>Figura 7 -</b>	Transferência de fascículo do nervo ulnar para o nervo motor do bíceps.....	33
<b>Figura 8 -</b>	Detalhes da técnica de transferência muscular livre.....	35
<b>Figura 9 -</b>	Diferentes métodos para a transferência da raiz de C7 contralateral .....	37
<b>Figura 10 -</b>	Diagramas da transferência muscular dupla.....	38
<b>Figura 11 -</b>	Retalho do músculo grácil transferido de maneira invertida no membro superior, com sua origem suturada ao m. bíceps e o tendão ancorado ao processo coracoide.....	40
<b>Figura 12 -</b>	Análise entre os diferentes pontos de ancoragem da transferência muscular livre do m. grácil.....	41
<b>Figura 13 -</b>	Vistas do músculo sóleo .....	43
<b>Figura 14 -</b>	Arquitetura muscular e neurovascular do músculo grácil .....	45
<b>Figura 15 -</b>	Arquitetura muscular .....	46
<b>Figura 16 -</b>	Modelos 3D dos músculos da mímica e mastigação .....	47
<b>Figura 17 -</b>	Dissecção do retalho do músculo grácil .....	52
<b>Figura 18 -</b>	Opções de nervos doadores e vias de acesso para a transferência livre do m. grácil.....	53
<b>Figura 19 -</b>	Seleção dos vasos receptores e nervo doador.....	54
<b>Figura 20 -</b>	Retalho funcional livre do músculo grácil.....	55
<b>Figura 21 -</b>	Preparação para a neurorafia .....	55

<b>Figura 22</b> -	Membro inferior esquerdo .....	56
<b>Figura 23</b> -	Membro superior direito .....	57
<b>Figura 24</b> -	Membro inferior e superior estabilizados para início da dissecação e digitalização .....	58
<b>Figura 25</b> -	Bancada preparada para o início da dissecação e digitalização das estruturas anatômicas da coxa esquerda.....	60
<b>Figura 26</b> -	Digitalizador Microscribe G2 e exemplo de sua utilização.....	61
<b>Figura 27</b> -	Dissecação e digitalização do m. grácil, após a retirada da veia safena magna e dos feixes de fibras musculares superficiais .....	62
<b>Figura 28</b> -	Etapas da dissecação e digitalização do músculo grácil direito .....	63
<b>Figura 29</b> -	Dissecação dos tendões .....	64
<b>Figura 30</b> -	Feixes de fibras digitalizados e removidos sequencialmente .....	65
<b>Figura 31</b> -	Dissecação e representação digital do músculo grácil esquerdo .....	66
<b>Figura 32</b> -	Caso clínico .....	71
<b>Figura 33</b> -	Linha de ação obtida para ambos os músculos.....	78
<b>Figura 34</b> -	Modelo tridimensional do músculo grácil esquerdo e estruturas vizinhas.....	79
<b>Figura 35</b> -	Modelos tridimensionais dos músculos grácil e bíceps braquial.....	80
<b>Figura 36</b> -	Comparação entre os modelos tridimensionais dos músculos grácil e bíceps.....	81
<b>Figura 37</b> -	Diferenças entre as medições da ASTA vs ASTF .....	93

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> -	Escala <i>British Medical Research Council</i> (BMRC).....	51
<b>Tabela 2</b> -	Dados gerais dos pacientes submetidos à transferência muscular livre do músculo grácil para flexão do cotovelo.....	69
<b>Tabela 3</b> -	Resultados das transferências livres do músculo grácil, divididos por grau obtido de força muscular, segundo o BMRC .....	72
<b>Tabela 4</b> -	Resultados das transferências livres do músculo grácil, divididos por nervo doador e agrupados em força muscular grau 0 a II e III a V (força muscular útil).....	74
<b>Tabela 5</b> -	Comparação entre a força muscular obtida pelas transferências musculares livres utilizando fascículo do nervo ulnar <i>versus</i> outros nervos.....	76
<b>Tabela 6</b> -	Comparação entre a força muscular obtida pelas transferências musculares livres utilizando nervo espinhal acessório <i>versus</i> outros nervos .....	76
<b>Tabela 7</b> -	Comparação entre os parâmetros anatômicos dos músculos grácil e bíceps braquial .....	78

## LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1** - Distribuição do número de casos (em %) de cada transferência de nervo que resultou em força muscular grau 0, I, II, III e IV ..... 73
- Gráfico 2** - Distribuição da força muscular obtida por nervo doador selecionado.....74
- Gráfico 3** - Porcentagem de cada transferência de nervo que resultou em força muscular graus 0 a II ou III a V (força muscular útil, em laranja) ..... 75

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AP	Ângulo de Penação
ASTA	Área de Secção Transversal Anatômica
ASTF	Área de Secção Transversal Fisiológica
BMRC	<i>Escala do British Medical Research Council</i>
CFE	Comprimento do Feixe de Fibras
DP	Desvio Padrão
EA	Nervo Espinhal Acessório
FF	Feixe de Fibras
FRE	Nervo Frênico
IC	Nervo Intercostal
LdA	Linha de Ação
m. grácil	Músculo Grácil
MED	Nervo Mediano
mm. grácil e adutor	Músculos Grácil e Adutor
ULN	Nervo Ulnar
VM	Volume Muscular

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>20</b>
2.1	OBJETIVO PRIMÁRIO .....	20
2.2	OBJETIVOS SECUNDÁRIOS .....	20
<b>3</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>22</b>
3.1	ASPECTOS HISTÓRICOS (DAS LESÕES DE NERVO PERIFÉRICO E TRANSFERÊNCIAS MUSCULARES LIVRES).....	22
3.2	ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS DA LESÃO DO PLEXO BRAQUIAL .....	28
3.3	ESCALAS PARA GRADUAR A FUNÇÃO MUSCULAR.....	30
3.4	TRATAMENTO CIRÚRGICO DA LESÃO DO PLEXO BRAQUIAL .....	31
<b>3.4.1</b>	<b>Transferências de nervos</b> .....	<b>31</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Transferência muscular funcional livre</b> .....	<b>34</b>
3.5	RECONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL DOS MÚSCULOS COMO FERRAMENTA PARA ESTUDOS ANATÔMICOS .....	42
<b>4</b>	<b>MÉTODOS</b> .....	<b>49</b>
4.1	SÉRIE DE CASOS RETROSPECTIVA .....	49
<b>4.1.1</b>	<b>Desenho do estudo</b> .....	<b>49</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Aprovação na comissão de ética</b> .....	<b>49</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Custos</b> .....	<b>49</b>
<b>4.1.4</b>	<b>População estudada</b> .....	<b>49</b>
<b>4.1.5</b>	<b>Critérios de seleção</b> .....	<b>50</b>
4.1.5.1	Critérios de inclusão.....	50
4.1.5.2	Critérios de exclusão .....	50
<b>4.1.6</b>	<b>Variáveis analisadas</b> .....	<b>50</b>
<b>4.1.7</b>	<b>Cálculo da amostra</b> .....	<b>51</b>
<b>4.1.8</b>	<b>Técnica cirúrgica</b> .....	<b>51</b>
<b>4.1.9</b>	<b>Análise estatística</b> .....	<b>56</b>
4.2	ESTUDO ANATÔMICO .....	56
<b>4.2.1</b>	<b>Espécimes</b> .....	<b>56</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Dissecção</b> .....	<b>58</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Digitalização</b> .....	<b>61</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Reconstrução 3D</b> .....	<b>65</b>

<b>5</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>68</b>
5.1	SÉRIE DE CASOS RETROSPECTIVA .....	68
<b>5.1.1</b>	<b>Dados gerais.....</b>	<b>68</b>
5.1.1.1	Comparação entre os nervos doadores.....	76
5.1.1.2	Mecanismos de trauma.....	76
5.1.1.3	Complicações.....	77
5.1.1.4	Cirurgias secundárias .....	77
5.2	ESTUDO ANATÔMICO .....	77
<b>5.2.1</b>	<b>Resultados do estudo anatômico.....</b>	<b>77</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Comparação entre os músculos .....</b>	<b>78</b>
<b>6</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>83</b>
6.1	SÉRIE DE CASOS RETROSPECTIVA DE TRANSFERÊNCIAS MUSCULARES LIVRES DO MÚSCULO GRÁCIL PARA FLEXÃO DO COTOVELO.....	83
6.2	COMPARAÇÃO ENTRE OS MÚSCULOS GRÁCIL E BÍCEPS RECONSTRUÍDOS TRIDIMENSIONALMENTE.....	89
<b>6.2.1</b>	<b>Comprimento do feixe de fibras .....</b>	<b>90</b>
<b>6.2.2</b>	<b>Linha de ação.....</b>	<b>91</b>
<b>6.2.3</b>	<b>Ângulo de penação .....</b>	<b>91</b>
<b>6.2.4</b>	<b>Volume muscular e massa muscular .....</b>	<b>92</b>
<b>6.2.5</b>	<b>Área de secção transversal anatômica .....</b>	<b>92</b>
<b>6.2.6</b>	<b>Área de secção transversal fisiológica .....</b>	<b>93</b>
<b>6.2.7</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>94</b>
6.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>97</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>99</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>105</b>
	ANEXO A – PARECER CONSUBSTANCIADO DO COMITE DE ÉTICA EM PESQUISA / PLATAFORMA BRASIL.....	105
	ANEXO B – BOLSA DE ESTUDOS CONCEDIDA PELA CAPES PARA REALIZAÇÃO DE PROJETO DE DOUTORADO-SANDUÍCHE NA UNIVERSIDADE DE TORONTO (ONTÁRIO/CANADA) PELO PERÍODO DE SETEMBRO/2022 E FEVEREIRO/2023.....	109

# 1 INTRODUÇÃO

---

## 1 INTRODUÇÃO

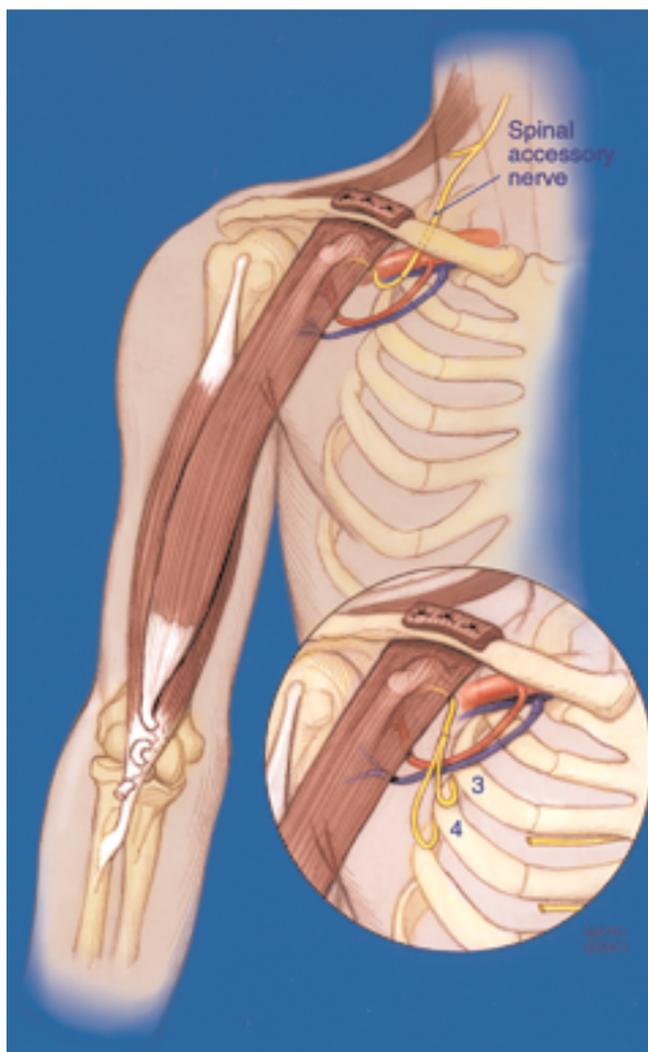
A lesão traumática do plexo braquial tem atraído crescente atenção da comunidade científica nas últimas décadas, tanto por sua natureza devastadora quanto pelos desafios significativos que impõe aos profissionais responsáveis por seu tratamento<sup>1</sup>. Notadamente o déficit de flexão do cotovelo representa problema frequente para os pacientes com lesão do plexo braquial, sendo o reestabelecimento desta função o objetivo primário do tratamento<sup>2</sup>.

As lesões do plexo braquial tratadas cirurgicamente de forma precoce têm nas reconstruções com enxerto e nas transferências de nervos para flexão do cotovelo os procedimentos de eleição<sup>3,4</sup>. Sabe-se, no entanto, que pacientes avaliados tardiamente (intervalo trauma-cirurgia acima de 12-18 meses) evoluem com degeneração da junção neuromuscular dos músculos do membro superior, alteração esta considerada irreversível e que impossibilita as reconstruções e transferências de nervos que teriam como alvo essa musculatura<sup>5,6</sup>. Portanto, quando o tratamento é postergado ou há falha da abordagem cirúrgica na fase aguda - e não há músculos suficientemente fortes para transferências musculares da vizinhança - a alternativa para recuperar a flexão do cotovelo está no transplante muscular funcional livre, inervado por transferência de nervo intra ou extraplexual a depender do nível da lesão do plexo braquial<sup>7-9</sup>.

Ao optar pela transferência muscular funcional livre, é necessário selecionar um nervo motor doador na região da reconstrução, para que seja conectado ao nervo motor do músculo transferido. Nas lesões totais do plexo braquial, os nervos popularmente utilizados são o nervo acessório, os nervos intercostais e o nervo frênico. Já nas lesões parciais altas, além desses nervos, a neurotização pode ser realizada com fascículos motores do nervo mediano ou nervo ulnar, à semelhança da transferência idealizada por Oberlin<sup>3</sup> e posteriormente popularizada por Mackinnon<sup>4</sup>.

O músculo grácil é, atualmente, o mais utilizado na transferência muscular livre para flexão do cotovelo por ser um músculo fino, com força e excursão adequadas, pedículo neurovascular confiável, fácil dissecação e por não acarretar perda funcional importante no membro inferior<sup>10-13</sup>(Figura 1).

**Figura 1 -** Transferência muscular funcional livre do músculo grácil para o bíceps braquial



Fonte: Barrie et al. (2004)<sup>7</sup>.

Legenda: Figura maior: Músculo grácil fixado proximalmente à clavícula e distalmente ao tendão do bíceps. O nervo motor é conectado ao nervo espinhal acessório ou a nervos intercostais (figura menor).

No entanto, resta dúvida acerca de qual nervo potencialmente leva a melhores resultados quando utilizado para reanimar a flexão de cotovelo nos transplantes de m. grácil, após lesões traumáticas crônicas do plexo braquial em adultos.

## **2 OBJETIVOS**

---

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO PRIMÁRIO

Comparar os resultados do ganho de flexão de cotovelo nas diferentes transferências de nervos utilizadas para inervar o retalho funcional livre do músculo grácil, utilizando os nervos acessório, mediano, ulnar, frênico ou intercostal como doadores.

### 2.2 OBJETIVO SECUNDÁRIO

Realizar estudo anatômico que consiste na dissecação volumétrica *in situ* dos músculos grácil e bíceps braquial, digitalização das estruturas e sua reconstrução tridimensional, permitindo comparação detalhada da arquitetura de ambos os músculos.

## **3 REVISÃO DA LITERATURA**

---

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 ASPECTOS HISTÓRICOS (DAS LESÕES DE NERVO PERIFÉRICO E TRANSFERÊNCIAS MUSCULARES LIVRES)

Bowden e Gutman<sup>14</sup>, em artigo seminal de 1944, estudam, de maneira pioneira, a denervação e a reinervação dos músculos voluntários de humanos. Até então, estudos descrevem como tais fenômenos ocorrem em animais, em que as taxas de metabolismo basal e características peculiares dificultam a generalização dos resultados. Em Oxford, os autores avaliam 140 biópsias colhidas de 86 pacientes vítimas de lesões de nervo periférico operados, com tipo da lesão\* e tempo de trauma objetivamente definidos. Descrevem, então, detalhadamente, alterações observadas em quatro fases: (1) Aquelas que ocorrem durante os primeiros três meses; (2) no período de quatro meses a um ano; (3) após um até três anos; e (4) após três anos. As mudanças observadas são:

- **Nas fibras musculares:** desaparecimento progressivo, mas desigual das fibras musculares e um afrouxamento de seu arranjo longitudinal interno. Nos últimos estágios de denervação, a continuidade das fibras musculares é perdida e estas são substituídas por tecido conjuntivo;
- **No sarcoplasma:** Há uma depleção progressiva do citoplasma das placas neuromusculares;
- **Nos núcleos:** Inicialmente preservados, ocorrem mudanças lentas que levam à dissolução e ao desaparecimento dos núcleos nas fases finais da denervação;
- **Na inervação:** O padrão de inervação sofre uma distorção progressiva, causada pelo aumento do tecido conjuntivo e pela formação de gordura, que, finalmente, oclui os tubos de Schwann terminais. Há uma fibrose intraneural progressiva nos troncos maiores;
- **Na irrigação sanguínea:** semelhante à inervação, a parede das artérias torna-se espessa e os capilares são substituídos por tecido conjuntivo.

Ao final, discutem as possíveis intervenções que podem cessar ou reverter a atrofia muscular observada. Descrevem que a recuperação do músculo após a reinervação depende dos

---

\* Um ano antes (1943), também em Oxford, Seddon<sup>15</sup> descreve os três tipos clássicos de lesão do nervo periférico: neuropraxia, axonotmese e neurotmese. Os termos foram inicialmente sugeridos em 1941 pelo Prof. Henry Cohen. Sua classificação foi, posteriormente, ampliada por Sunderland<sup>16</sup> em 1951, para cinco tipos.

seguintes fatores: (1) O estado do músculo; (2) o estado do nervo; (3) a natureza da lesão; e (4) o período de reinervação. Reforçam o papel do tempo de denervação como algo crítico e citam que, após três anos, as alterações são irreversíveis.

Em 1950, Sunderland e Ray<sup>17</sup>, em Melbourne, relatam com riqueza de detalhes as fases de atrofia muscular que decorrem da denervação ao estudar 36 espécimes de gambá australiano por um período de lesão de nervo que variou de 9 até 485 dias. As unidades motoras (nervos + músculos) de uma pata, cujo nervo fora previamente lesado de maneira controlada, foi comparada com unidades motoras normais da pata contralateral. Diminuição de peso, alterações nas fibras musculares, núcleo, placa neuromuscular e irrigação são descritas de forma progressiva nas unidades motoras estudadas.

Aird et al., em 1953<sup>18</sup>, publicam série de 134 biópsias musculares de 120 pacientes vítimas de lesão de nervo. Os autores contribuem para o estudo da degeneração das unidades motoras, em especial, as placas neuromusculares (ou placas de nervos terminais). Os períodos de denervação variam de 1 dia a 26 anos, e, por meio de microscopia óptica, os autores descrevem o predomínio de fibrose intersticial e diminuição significativa da quantidade de placas terminais após 11 meses de lesão, em humanos. Enfaticamente, defendem a cirurgia precoce para sutura de nervo e citam o papel benéfico da fisioterapia motora e eletroterapia para manutenção da elasticidade das fibras musculares, em contraposição à fibrose progressiva enquanto os músculos aguardam reinervação.

Em 1956, Hovanian<sup>19</sup> relata a primeira transferência muscular funcional pediculada do músculo grande dorsal, ao utilizá-lo para reanimação da flexão de cotovelo em um paciente. Detalha a técnica pormenorizadamente e comenta que o volume muscular, o comprimento das fibras e a excursão deste são comparáveis com as dimensões dos músculos bíceps e braquial. No mesmo artigo, descreve a utilização do mesmo retalho como alternativa para extensão do cotovelo, em paciente com déficit da função do tríceps.

Tamai et al.<sup>20</sup>, em 1970, descrevem a primeira transferência muscular livre com microanastomoses, ao elevar o músculo reto femoral de cães, com anastomoses vasculares dos ramos que emergem diretamente da artéria femoral superficial nos cotos ligados e neurorafia do nervo motor (ramo do nervo femoral) ortotópica (30 espécimes). Transferência heterotópica também foi realizada, em que o retalho muscular funcional livre foi transplantado com sucesso para o braço, panturrilha ou coxa contralateral (10 espécimes). Obtêm sucesso em 70% das transferências (28/40), registrando características das fibras transferidas e sinais mioelétricos três meses após a cirurgia.

Em 1974, Thesleff<sup>21</sup> estuda modelo de denervação muscular em ratos, com ênfase nas alterações mioelétricas. Relata que, após a interrupção do estímulo nervoso, ocorrem os seguintes fenômenos, em um intervalo de 14 dias: (1) queda no potencial de membrana em repouso; (2) aumento no número de receptores colinérgicos; e (3) mudanças quantitativas e qualitativas no potencial de ação das membranas das células musculares. Resume que, após a denervação, a inatividade muscular e a falta de substâncias tróficas normalmente liberadas do nervo induzem no músculo a síntese de proteínas, que culminam em alterações moleculares nas unidades motoras (placa neuromuscular e fibras musculares).

Harii et al.<sup>22</sup>, em estudo pioneiro de 1976, realizam a primeira transferência livre de retalhos musculocutâneos do m. grácil para falhas de cobertura. Realizam 15 transferências da pele recobrando o m. grácil em cães e estudam a irrigação do músculo e dos vasos musculocutâneos em cadáveres, para, finalmente, tratarem três pacientes com falhas de cobertura (duas feridas na cabeça e uma no joelho) com retalhos livres musculocutâneos do m. grácil. Descrevem detalhadamente a anatomia do pedículo principal muscular, com sua origem na artéria femoral profunda (artérias mediram 1,2 a 1,8 mm de diâmetro externo), contendo, ainda, duas veias (1,5 a 2,0 mm de diâmetro externo) e cursando, profundamente, ao músculo adutor longo. Relatam, inclusive, o trajeto do nervo motor para o músculo, ramo do nervo obturador. As três reconstruções são bem-sucedidas (Figura 2).

**Figura 2 -** Primeira transferência livre do m. grácil

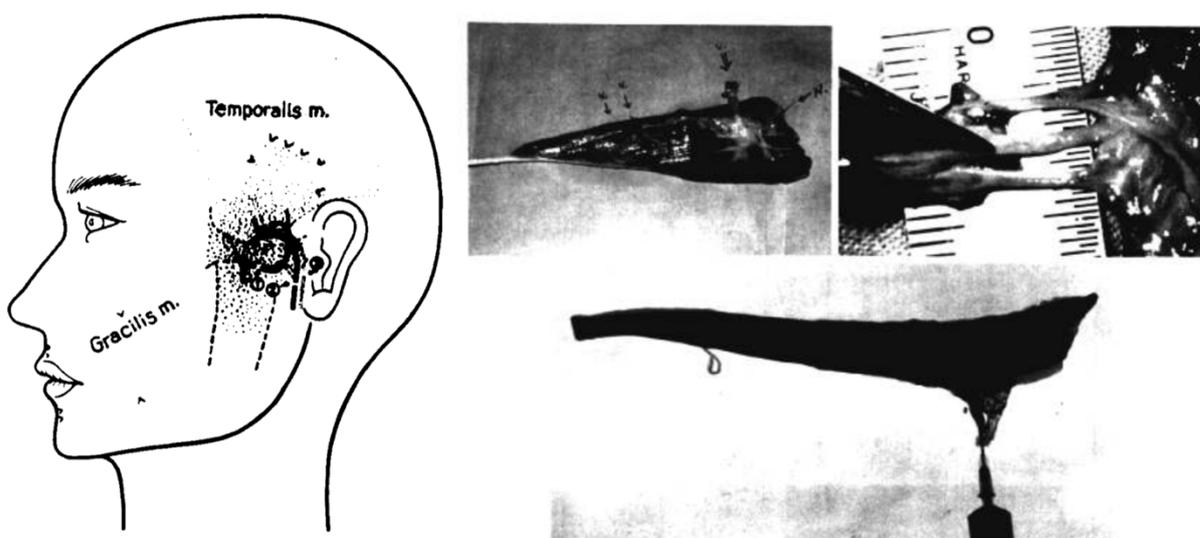


Fonte: Harii et al. (1976)<sup>22</sup>.

Legenda: Esquerda: área de enxerto de pele na frente (pré-operatório); Centro: Pós-operatório imediato de reconstrução de falha de cobertura com retalho musculocutâneo do m. grácil; Direita: Pós-operatório tardio da transferência.

Ainda em 1976, Harii et al.<sup>23</sup>, em Tokyo, relatam a primeira transferência funcional livre do m. grácil para tratamento de paralisia facial em dois pacientes (Figura 3). Descrevem as vantagens do m. grácil para tal procedimento, por se tratar de músculo estriado com boa excursão e nutrido por um único pedículo de calibre adequado (veias e artéria de aprox. 1,5 mm). Ambos os retalhos são anastomosados à artéria temporal superficial e são inervados pelo nervo temporal profundo, logrando bons resultados.

**Figura 3 -** Primeira transferência funcional livre do m. grácil para tratamento de paralisia facial em dois pacientes



Fonte: Harii et al. (1976)<sup>23</sup>

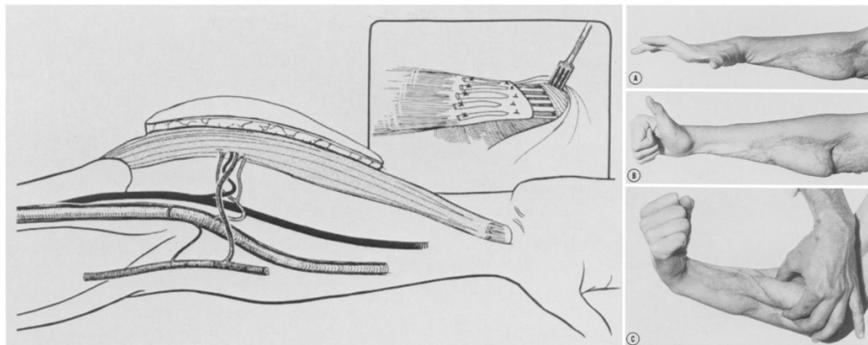
Legenda: Esquerda: Planejamento da primeira transferência funcional livre do m. grácil; Direita: Acima – retalho dissecado e detalhe do pedículo, com artéria no centro e veias comitantes (acima à direita); Direita abaixo: radiografia após aplicação de contraste radio-opaco pelo pedículo principal do retalho, evidenciando sua rica irrigação.

Terziz et al.<sup>24</sup>, em 1978, estudam transferências musculares livres do músculo reto femoral em coelhos. Cinco grupos de 12 espécimes são analisados: grupo A - não operado (controle); grupo B - a origem e a inserção do músculo seccionadas e reparadas após a mobilização do retalho sobre seu pedículo neurovascular intacto (tenotomia); grupo C - apenas o pedículo neurovascular foi cortado e reparado; grupo D - retalhos musculares livres elevados, microanastomoses e neurorrafia realizadas *in situ* (ortotopicamente); grupo E - transplantes heterotópicos dos retalhos musculares livres. Os animais foram acompanhados por 13 meses, e a função muscular estudada via: (1) medida do peso muscular e comprimento deste em repouso; (2) avaliação fisiológica: (A) medição da força de contração muscular e taxa de fadiga); (B) registros eletromiográficos; e (C) estudos de condução de nervo. Citam que a reinervação ocorreu após cerca de 10 meses, e concluem que, após um reparo neurovascular bem-sucedido,

o músculo transferido sobrevive, porém atinge força e excursão inferiores ao músculo normal. Afirmam que, mesmo após reinervação completa, sua capacidade máxima de trabalho é de cerca de um quarto do normal.

Manktelow e McKee<sup>25</sup>, em 1978, descrevem transferências musculares livres para flexão de dedos em dois pacientes. Relatam o uso de um retalho funcional do m. grácil para o primeiro paciente (Figura 4) e porção do m. peitoral para o segundo. Ambos adquirem boa força de preensão da mão, com início da contração muscular presente cerca de três meses após a transferência.

**Figura 4 -** Retalho funcional do m. grácil



Fonte: Manktelow e McKee (1978)<sup>25</sup>

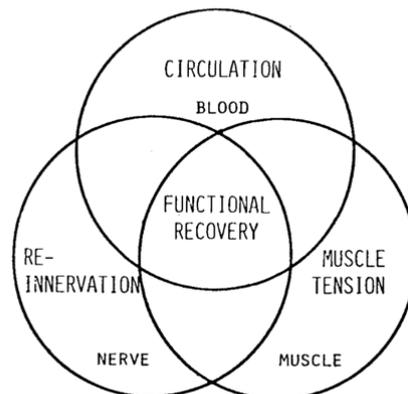
Legenda: Esquerda: Esquema da primeira descrição do retalho muscular funcional livre no Hemisfério Ocidental (Toronto/CAN), para flexão de dedos; Direita: Resultado pós-operatório tardio.

Ikuta et al.<sup>26</sup>, em artigo histórico de 1980, relatam oito casos de transferência muscular funcional livre para: cinco pacientes com contratura de Volkmann, dois com poliomielite e um com lesão do plexo braquial. Em 6 pacientes, o músculo grácil é selecionado como o músculo a ser transferido, enquanto o músculo peitoral maior e o músculo semitendíneo são usados no restante (Figura 5). Seis pacientes (6/8, 75%) atingem força muscular útil, apresentando falha os dois pacientes com histórico de poliomielite. Cinco das transferências bem-sucedidas são para antebraço; a transferência para bíceps em paciente vítima de lesão do plexo também logra êxito. Neste caso – o primeiro do tipo descrito, os autores utilizam o nervo intercostal para inervar a transferência funcional muscular livre do m. grácil.

**Figura 5 -** Série de Ikuta de transferências musculares funcionais livres

Case	Sex	Age (years)	Diagnosis	Recipient Site	Donor Site	Result	
1.	H.Y.	M	6	Volkman	Rt forearm	Pectoralis maj.	Success
2.	N.T.	M	12	Volkman	Lt forearm	Gracilis	Success
3.	T.K.	M	11	Brac. plex. pal.	Rt upper arm	Gracilis*	Success
4.	W.M.	F	20	Polio.	Rt upper arm	Gracilis*	Failure
5.	T.Y.	M	21	Polio.	Lt upper arm	Gracilis*	Failure
6.	T.N.	M	6	Volkman	Rt forearm	Semitendinosus + skin	Success
7.	K.M.	F	5	Volkman	Rt forearm	Gracilis	Success
8.	A.T.	M	21	Volkman	Lt forearm	Gracilis + skin	Success

\*Intercostal nerve transfer

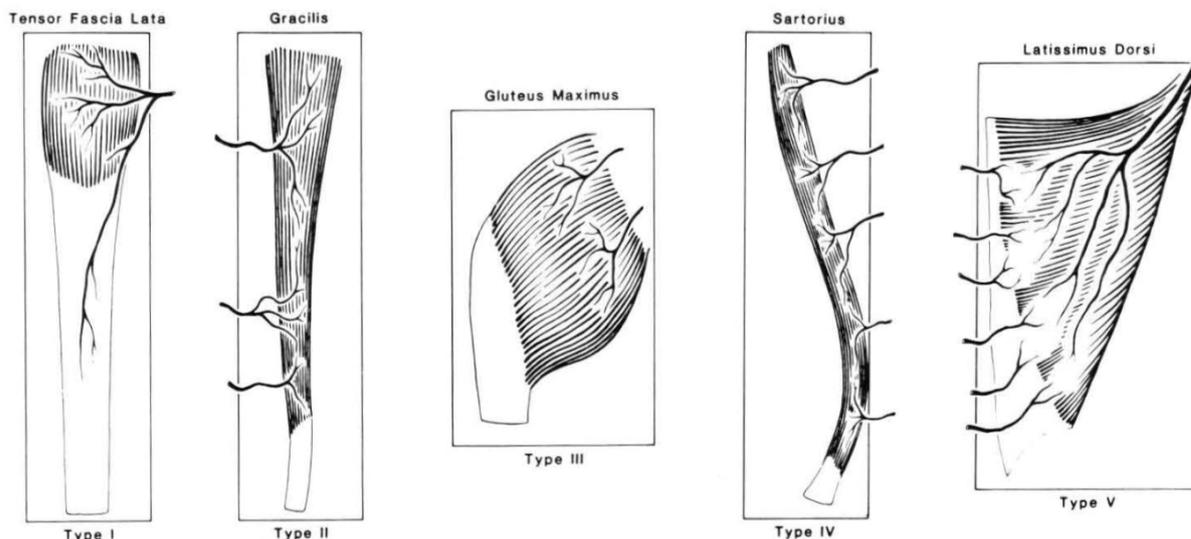


Fonte: Ikuta et al. (1980)<sup>26</sup>

Legenda: Esquerda: série de casos com a primeira transferência muscular livre do m. grácil para flexão de cotovelo, em lesão traumática do plexo braquial (Caso 3); Rt upper arm: braço direito; Lt upper arm: braço esquerdo. Direita: Esquema evidenciando o importante papel do tripé reinervação, tensão muscular adequada e circulação sanguínea para o sucesso da transferência muscular funcional livre.

Harii et al.<sup>27</sup>, em 1981, estudam a anatomia do retalho miocutâneo do m. grande dorsal e realizam sua transferência microcirúrgica em cinco pacientes para tratamento de defeitos de cobertura. Todos os retalhos cicatrizam e os autores reforçam a versatilidade da transferência muscular livre para reconstrução de defeitos cutâneos.

Em 1981, Mathes e Nahai<sup>28</sup> descrevem classificação dos retalhos musculares, baseada em sua vascularização. Os critérios utilizados são: origem dos pedículos arteriais que nutram o músculo, seu tamanho, número, local em que o(s) pedículo(s) adentram o músculo (em relação à sua origem e inserção) e padrão angiográfico da vascularização do músculo. A classificação consiste em cinco tipos: (I) um pedículo vascular; (II) um pedículo dominante e pedículos menores; (III) dois pedículos dominantes; (IV) pedículos vasculares segmentares, e (V) um pedículo dominante e pedículos vasculares segmentares secundários (Figura 6). O retalho muscular do m. grácil é classificado como tipo II (um pedículo vascular dominante e pedículos menores).

**Figura 6 -** Classificação dos retalhos musculares

Fonte: Mathes e Nahai (1981)<sup>28</sup>.

Takami et al.<sup>29</sup>, em 1984, relatam o uso do músculo grande dorsal, em sua forma pediculada, para obtenção de flexão do cotovelo em dois pacientes vítimas de lesão alta do plexo braquial. Obtêm flexão média de 127 graus do cotovelo, um ano após as transferências.

### 3.2 ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS DA LESÃO DO PLEXO BRAQUIAL

Midha et al.<sup>30</sup>, em 1997, publicam estudo epidemiológico sobre as lesões de plexo braquial em Toronto/CAN. Estudam prevalência, fatores causais e tipos de lesão. Relatam diagnóstico da lesão do plexo em 1,2% dos pacientes que procuram uma unidade regional de trauma (54 casos em 4.538 totais). Pacientes jovens do sexo masculino predominam, assim como, acidentes com veículos automotores: 0,67% dos acidentes envolvendo carros resultam em lesões de plexo, aumentando para 4,2% das vítimas de acidentes de motocicleta e 4,8% nos acidentes com *snowmobile*. As lesões são supraclaviculares em 62% dos pacientes e infraclaviculares em 38%. Lesões supraclaviculares têm probabilidade maior de ser graves (Sunderland<sup>16</sup> Grau 3 ou 4), com conseqüente exploração cirúrgica e reconstrução em 52% *versus* 17% (  $P < 0,05$ ) nas lesões infraclaviculares. As lesões associadas incluem lesões fechadas cranioencefálicas com perda de consciência em 72% dos pacientes (coma em 19%), fraturas da coluna cervical em 13% e fraturas da clavícula, escápula, úmero ou luxações do ombro em 15 a 22%. Fraturas de costelas ocorrem em 41% e estas são complicadas por lesões torácicas internas em 40%. O escore ISS dos pacientes varia de 5 a 59 (média de 24), com relato de dois óbitos.

Rocha et al.<sup>31</sup>, em 2004, estudam 67 pacientes operados durante um período de 10 anos no Instituto Nacional de Traumatologia-Ortopedia do Rio de Janeiro, revelando incidência de 77,6% de lesões de origem traumática, 17,9% de origem obstétrica e 4,5% de síndrome do desfiladeiro torácico. O sexo masculino (92,3%) é mais afetado, com idade média de 25 anos (1,5 anos a 60 anos). As causas principais dos acidentes são motocicleta (28,8%), colisão (26,9%) e atropelamento (19,2%). As lesões mais comumente encontradas são C5-C6 (36,5%) e C5-T1 (32,7%). Cinquenta por cento dos casos apresentam avulsão total das raízes, sendo as neurotizações extraplexuais os procedimentos cirúrgicos mais comumente realizados (48% dos casos). Em seguida, vêm as enxertias de nervo em 20% e as neurotizações intraplexuais em 12,5%. Após reconstrução de raízes com enxerto apresentam índice de 62,5% de recuperação total, com 37,5% de recuperação parcial. Após transferências de nervos, relatam 31,6% de recuperação total, 42,1% de recuperação parcial e 26,3% sem recuperação. Nas neurólises, o índice de recuperação total é de 80%.

Flores<sup>32</sup>, em 2006, analisa, prospectivamente, 35 pacientes atendidos no período de um ano no distrito federal (Brasília/BRA). As lesões supraclaviculares são as mais comuns (62%), sendo 21 lesões por mecanismo de tração (60%), 9 por projétil de arma de fogo (25%), três por compressão (8,5%) e dois ferimentos cortantes (5,7%). Acidentes motociclísticos respondem por 54% dos traumas. Mielografia por tomografia computadorizada identifica avulsão radicular em 16 casos (76%). Melhora neurológica parcial espontânea é relatada em 43% dos pacientes. Dor neuropática é descrita em 25 casos (71%), com 16 destes (64%) controlados com medicações orais. Calcula a incidência em 1,75 casos para cada 100.000 habitantes/ano.

Faglioni et al.<sup>33</sup>, em 2014, apresentam análise epidemiológica dos pacientes operados por lesões traumáticas do plexo braquial no Departamento de Neurocirurgia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. No período de 2004 a 2012, 406 pacientes são estudados, sendo 384 (94,6%) homens e 22 (5,4%) mulheres. Em 45,9%, o plexo comprometido foi o direito e em 54,1%, o esquerdo, com idade média de 28,3 anos. Acidente motociclístico é a causa mais frequente (79%) e a maioria das lesões é supraclavicular. Em 46,1% dos casos, as lesões são completas, em 30,1%, as lesões comprometem as raízes C5/C6, em 20,9%, as raízes C5/C6/C7 e, em 2,9%, a lesão é das raízes inferiores, C8/T1. Dentre as lesões associadas, as mais prevalentes são: traumatismo cranioencefálico (34,2%); lesões de ossos longos (38,8%); fratura de clavícula (25,9%) e trauma torácico em 12,9%.

Mello Jr. et al.<sup>34</sup>, em 2011, avaliam 21 pacientes com lesão do plexo braquial tratados no hospital universitário da Universidade Federal do Rio de Janeiro no intervalo de um ano. Estudam pacientes com idade entre 18 e 75 anos, e história de trauma do plexo braquial, sendo 18 homens e 3 mulheres (85,7% gênero masculino, acometimento de homens na razão de 6:1), com média de idade de 33,2 anos. Os acidentes de trânsito são os mais implicados (81%), sendo os acidentes de motocicleta responsáveis por 66,7% das lesões. Lesões associadas ao trauma ocorrem em 76,2% dos pacientes e dezoito pacientes são submetidos a cirurgias.

Dy et al.<sup>35</sup>, em 2020, estimam, por meio de análise em banco de dados de seguradoras americanas, que o custo anual para o tratamento cirúrgico de lesões do plexo braquial no ano de 2006 é de 66 milhões de dólares. Estudam adultos com seguro privado e idades entre 18 e 64 anos que se submetem à cirurgia entre 2008 e 2014, identificando 966 pacientes e incidência média de 0,89 por 100.000 habitantes (variando de 0,53 a 1,47). Percebem aumento global estatisticamente significativa na incidência de lesões do plexo braquial, passando de 0,68/100.000 habitantes em 2008 para 1,47/100.000 habitantes em 2014.

Cho et al.<sup>36</sup>, em 2020, realizam um estudo epidemiológico das lesões do plexo braquial tratadas no Hospital Mário Covas, em Santo André, região metropolitana de São Paulo/BRA. Entre agosto de 2008 até junho de 2013, estudam 94 pacientes, com idade média de 26 anos (12-50 anos). Encontram incidência anual estimada em 1,88/100.000 habitantes, com média de tempo entre a lesão e a primeira consulta de 8,25 meses. O intervalo de tempo entre a lesão e a cirurgia é de, em média, 11,6 meses (5-48 meses), com lesões totais relatadas em 33%, lesões de tronco superior em 33%, tronco superior e médio em 26% e tronco inferior em 8% dos casos.

### 3.3 ESCALAS PARA GRADUAR A FUNÇÃO MUSCULAR

O texto “Aids to the examination of the peripheral nervous system – Medical Research Council Memorandum No.45 (superseding War Memorandum N° 7)”<sup>37</sup> compilado na forma de memorando em 1941 e atualizado em 1975, é resultado do trabalho do staff do departamento de cirurgia da Universidade de Edimburgo. A publicação descreve o exame clínico do sistema nervoso periférico, popularizando a graduação da força muscular em seis estágios: grau 0 - ausência de contração; grau 1 - tremor ou traço de contração; grau 2 - movimento ativo, com a gravidade eliminada; grau 3 - movimento ativo contra a gravidade; grau 4 - movimento ativo contra gravidade e resistência; e grau 5 - força normal. Tal classificação é extensamente utilizada nos estudos posteriores que avaliam força muscular.

Dyck et al.<sup>38</sup>, em 2005, publicam artigo que revisita a história dos métodos de aferição da força muscular, com relatos publicados desde o século XIX. Reconhecem a importância da classificação introduzida pelo British Medical Research Council<sup>37</sup>, o escore mais utilizado à época. Propõe nova classificação para medição da força muscular (NIS – *Neuropathy Impairment Score*), com 9 estágios de gradação de força muscular.

Bengtson et al.<sup>39</sup>, em 2008, publicam análise crítica sobre as ferramentas para medir resultado nas intervenções em pacientes vítimas de lesões do plexo braquial em adultos. Afirmam que a medida de resultado ideal deve ser válida, confiável, responsiva, imparcial, apropriada e fácil, citando que nenhuma classificação atual endereça todas estas variáveis. Relatam a utilidade do escore BMRC<sup>39</sup> para avaliação da força muscular, enquanto outros escores expressam resultados relacionados ao paciente (DASH) ou medidas de qualidade de vida (*Short Form 36/SF-36*).

Bhardwaj e Bhardwaj<sup>40</sup>, em 2009, citam que a escala BMRC para gradação da força muscular do cotovelo é a mais utilizada para avaliar retorno da função em adultos vítimas de lesões do plexo braquial. No entanto, citam como limitação o fato de o intervalo entre graus abarcar, frequentemente, múltiplos perfis de paciente, propondo subdividir os graus 2, 3 e 4 da classificação do BMRC em subtipos A, B e C, levando em consideração o arco de movimento articular que este é capaz de realizar (subtipos 2 e 3) ou o peso levantado (subtipo 4) ao classificar o paciente.

### 3.4 TRATAMENTO CIRÚRGICO DA LESÃO DO PLEXO BRAQUIAL

#### 3.4.1 Transferências de nervos

Narakas<sup>1</sup>, em 1985, trabalhando em Lausanne (Suíça), relata o tratamento de 1.068 pacientes com lesão do plexo braquial, durante um período de 18 anos. Dos 329 pacientes operados, 23% apresentam lesão vascular associada e 80% lesões em múltiplas topografias. Estima a avulsão de raízes cervicais em 70% dos casos e relata o período de alguns dias a semanas como ideal para operar os pacientes, excetuando-se os casos leves. Os seguintes procedimentos são relatados: 7 explorações supraclaviculares sem reparo (4 como emergências); 32 neurólises externas (epineurais); 14 neurólises internas (interfasciculares); 189 neurólises e enxerto de nervo autólogo; 43 neurólises e transferência de nervo (neurotização) e 44 neurólises com enxerto autólogo e neurotizações associadas. Relata como úteis as transferências do nervo espinhal acessório para nervo supraespinhal, nervos intercostais

para musculocutâneo e ramo do nervo radial para o tríceps transferido para o nervo axilar. Cita, ainda, que a mensuração de resultados é um desafio por envolver uma miríade de tipos de lesão e métodos de tratamento.

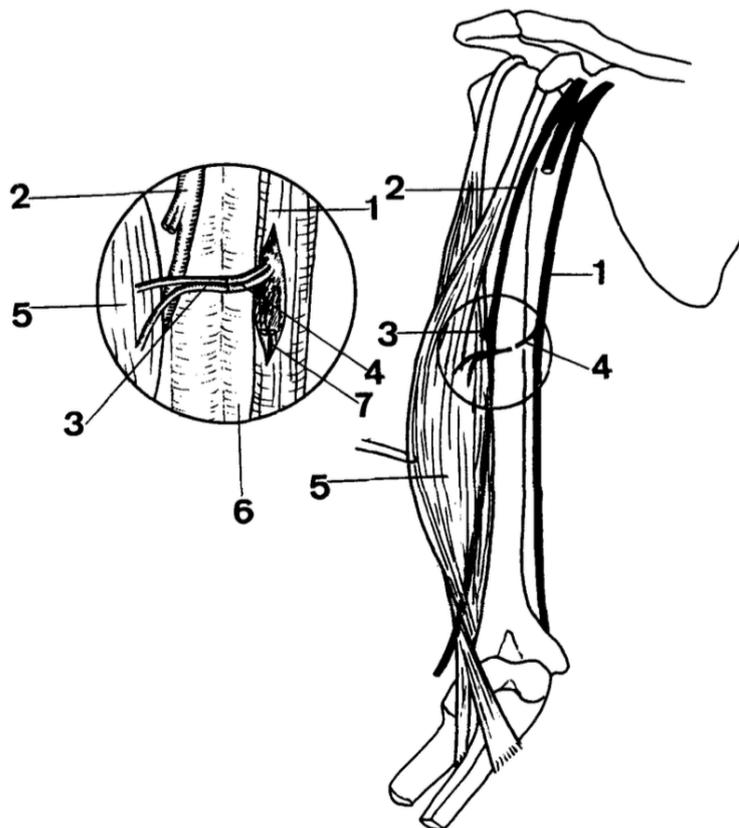
Allieu e Cenac<sup>41</sup>, em 1988, descrevem a transferência do nervo espinhal acessório para o nervo musculocutâneo, com uso de enxerto autólogo, em pacientes vítimas de lesão completa do plexo braquial com avulsão de raízes. Definem resultados ruins, moderados ou bons com base na escala de força muscular do *British Medical Research Council* (BMRC, resultado moderado e bom  $\geq$  Força grau 3). Obtêm força grau 3 em 10/15 pacientes (66%), após avaliação, pelo menos, dois anos após a cirurgia.

Em 1990, Friedman et al.<sup>42</sup> estudam 16 transferências de três nervos intercostais (números 3 a 5) para o nervo musculocutâneo sem enxerto, em lesões do plexo braquial com avulsão de raízes altas. Sete obtêm flexão do cotovelo com força muscular maior ou igual M3 (7/16, 44%). Quatro pacientes que apresentavam músculo bíceps e braquial inviáveis pelo tempo de denervação são submetidos à transferência muscular funcional livre do m. grácil, com dois desses pacientes obtendo força de flexão do cotovelo maior ou igual a M3.

Azze et al.<sup>6</sup>, em 1994, estudam 71 pacientes com lesões do plexo braquial, observando paralisia total em 54 e parcial em 17 (166 lesões pós-ganglionares de raízes e 146 lesões pré-ganglionares). Sessenta e duas transferências de nervos extraplexuais são realizadas no Instituto de Ortopedia e Traumatologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, sendo os nervos espinhal acessório, intercostal e ramos motores do plexo cervical os mais utilizados. Obtêm-se resultados favoráveis (força muscular maior ou igual a M3 e/ou sensibilidade protetora) em 69,3% dos casos.

Oberlin et al.<sup>3</sup>, em artigo revolucionário de 1994, relatam estudos anatômicos da então inédita transferência de fascículos motores do nervo ulnar para nervo musculocutâneo nas lesões parciais altas do plexo braquial, objetivando reanimação da flexão do cotovelo. O estudo inicial descreve o uso de dois fascículos do nervo ulnar medindo por volta de 10% do diâmetro total do nervo, a fim de compatibilizar o tamanho do nervo doador com os ramos motores do nervo musculocutâneo adentrando o bíceps braquial. Estudam, inicialmente, 20 membros superiores de cadáver e empregam a técnica em quatro pacientes apresentando lesão traumática parcial do plexo braquial. Todos os quatro atingem força muscular de flexão do cotovelo maior ou igual a M3, em média, 10 meses após a transferência de nervo (Figura 7). Nenhum paciente apresenta qualquer alteração sensitivo-motora no nervo ulnar doador. Descrevem, ainda, os padrões de ramificação, nos espécimes dissecados, do nervo musculocutâneo para as duas cabeças do bíceps, citando sua entrada no músculo cerca de 11 a 13 cm distalmente ao acrômio.

**Figura 7 -** Transferência de fascículo do nervo ulnar para o nervo motor do bíceps



Fonte: Oberlin et al. (1994)<sup>3</sup>.

Legenda: (1) nervo ulnar; (2) nervo musculocutâneo; (3) ramo do nervo musculocutâneo para o músculo bíceps; (4) dois fascículos colhidos do nervo ulnar; (5) músculo bíceps; (6) túnel braquial; (7) epineuro do nervo ulnar.

Leechavengvongs et al.<sup>43</sup>, em 2003, relatam técnica inovadora utilizada em 7 pacientes com perda da abdução do ombro secundária a lesões do tronco superior do plexo braquial, com idade média de 25 anos. A cirurgia consiste na transferência do ramo para a cabeça longa do tríceps do nervo radial para a divisão anterior do nervo axilar por via posterior. O nervo acessório espinhal é transferido simultaneamente para o nervo supraescapular, e o período de acompanhamento varia de 18 a 28 meses (média de 20 meses). Todos os pacientes recuperam força do músculo deltoide que vence resistência (M4) e a abdução média do ombro mede 124°. Nenhuma fraqueza na extensão do cotovelo é observada.

Colbert e Mackinnon<sup>4</sup>, em 2008, realizam extensa revisão bibliográfica das opções de tratamento das lesões de nervos periférico, desde o diagnóstico (exame físico, exames complementares), passando pelas opções de tratamento e, finalmente, reabilitação. Discorrem sobre os papéis da reconstrução de raízes com enxerto e transferências de nervos motoras e sensitivas, inclusive neurotizações distais. Definem os seguintes princípios:

1. **Transferência de nervo motor** - nervo doador próximo às placas terminais motoras alvo, nervo doador prescindível, nervo doador motor puro, correspondência de tamanho entre doador e receptor, função sinérgica entre doador e receptor, reeducação motora melhora a função.
2. **Transferência de nervo sensitivo** - nervo doador próximo aos receptores de sensibilidade alvo, nervo doador prescindível (não crítico), nervo doador sensorial puro, correspondência de tamanho entre doador e receptor, reparo término-terminal preferível/terminolateral se necessário, reeducação sensorial melhora a função.

Reconhecem, por fim, a importância crescente da transferência muscular funcional livre no manejo destes pacientes, principalmente nas lesões totais.

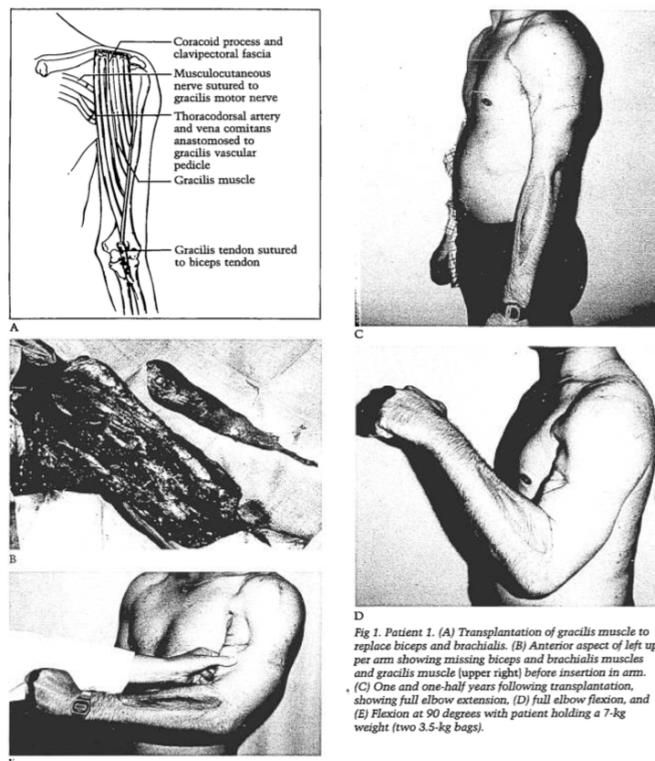
Wolf et al.<sup>44</sup>, em 2014, comparam 14 pacientes com paralisia do nervo axilar tratados com enxertos de nervo longos (média de 13,2 cm, 11-15 cm) e 24 pacientes tratados com transferências de ramo do nervo radial para o nervo axilar, com acompanhamento médio de 30 meses (9-105 meses). Antes da intervenção, todos os pacientes apresentam evidência eletromiográfica de denervação completa do deltoide, com todos os 14 pacientes do grupo enxerto obtendo força muscular M3 ou mais após a cirurgia, enquanto 22 dos 24 pacientes do grupo transferência atingem tal resultado.

### 3.4.2 Transferência muscular funcional livre

Manktelow e Zuker<sup>13</sup>, em artigo de revisão de 1989, analisam os princípios da transferência muscular livre, com ênfase no planejamento e preparo da área doadora, principalmente do nervo motor selecionado para inervar o músculo transferido. Citam os músculos grácil<sup>†</sup> e grande dorsal como os mais úteis para transferência funcional livre. Descrevem, ainda, o tratamento de dois pacientes com lesão de nervo periférico submetidos à transferência muscular livre do m. grácil para bíceps (Figura 8) e deltoide, respectivamente, com bons resultados.

---

<sup>†</sup> Manktelow relata visita à China, quando teve oportunidade de avaliar um paciente que recebeu transferência muscular livre do m. peitoral para flexores dos dedos realizada na década de 1970 no Sixth People's Hospital em Xangai<sup>45</sup>. Confessa que o excelente resultado obtido o estimulou a realizar cirurgias semelhantes no Hemisfério Ocidental (Toronto/CAN).

**Figura 8 - Detalhes da técnica de transferência muscular livre**

Fonte: Manktelow e Zucker (1989)<sup>13</sup>.

Legenda: (A) planejamento da transferência muscular livre do m. grácil para flexão do cotovelo; (B) dissecação da área receptora no braço e, ao lado, m. grácil elevado; (C) resultados após 18 meses: extensão completa do cotovelo; (D) flexão máxima do cotovelo e (E) flexão contra resistência de 07 kg.

Akasaka et al.<sup>46</sup>, em 1978, estudam 17 transferências do músculo reto femoral inervadas pelo terceiro e quarto nervos intercostais para flexão do cotovelo. Duas transferências são perdidas devido à trombose, e 8 dos 11 pacientes (73%) com acompanhamento superior a um ano obtêm força de flexão do cotovelo igual ou superior a M3. Descrevem, ainda, modificação da técnica em que associam, em segundo procedimento, transferência muscular funcional livre do m. grácil para extensão do punho, inervada pelo quinto e sexto nervos intercostais. Dos 29 pacientes incluídos, dois sofrem perda do retalho por trombose, e 9 dos 17 pacientes (53%) com acompanhamento maior que um ano obtêm extensão do punho com força M3 ou mais. Os autores reconhecem a importância do efeito tenodese para melhora da função do punho e dedos neste pacientes.

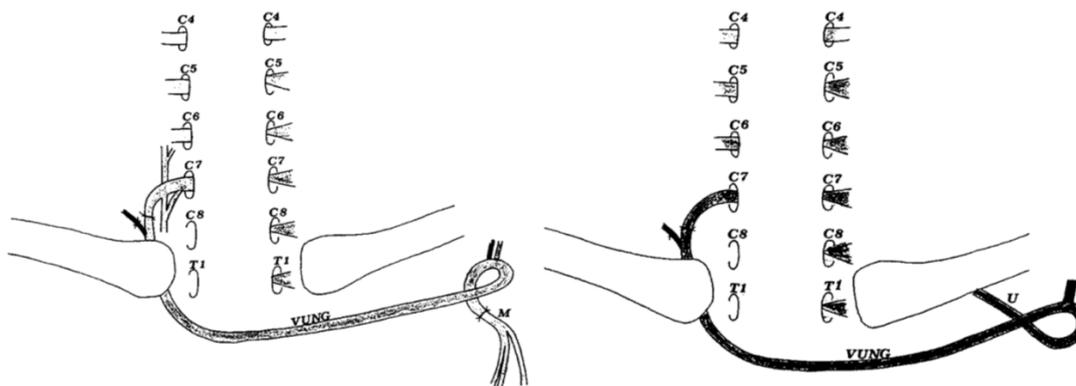
Berger et al.<sup>47</sup>, em 1990, descrevem técnica inovadora que consiste em duas etapas: na primeira fase, o nervo ulnar é preparado como enxerto vascularizado e suturado ao terceiro e quinto nervos intercostais. No estágio dois, quando o sinal de Tinel é detectável distalmente no enxerto do nervo ulnar (seis a oito meses após a etapa um), o músculo grande dorsal é transplantado o mais distalmente possível no antebraço e suturado aos flexores profundos dos

dedos e flexor longo do polegar. Proximalmente, o músculo é ancorado no úmero (de forma semelhante ao método de Steindler). Os vasos são conectados à artéria e veia braquial, e o nervo toracodorsal é suturado ao enxerto de nervo ulnar. Este método possibilita flexão simultânea dos dedos e do cotovelo. Aplicam a técnica em seis pacientes, obtendo bons resultados em cinco (5/6, 83,3%).

Doi et al.<sup>48</sup>, em 1991, propõem a transferência livre ou pediculada do músculo grande dorsal reinervado pelo nervo espinhal acessório para reconstrução concomitante da flexão do cotovelo e dedos em paciente vítimas de lesão do plexo braquial. Associam, ainda, a transferência motora de nervos intercostais para o nervo radial para extensão do cotovelo e punho, além da sutura de ramos sensitivos intercostais ao nervo mediano para restaurar sensibilidade da mão. Todos os 6 pacientes acompanhados por 34 meses, em média (24 a 52 meses), obtêm força de flexão do cotovelo maior que M3, com alguma extensão de cotovelo, flexão de dedos e sensibilidade protetora da mão associadas.

Chuang et al.<sup>5</sup>, em 1993, apresentam resultados preliminares da transferência da raiz de C7 contralateral para lesão do plexo braquial. Citam, inicialmente, que, de 260 lesões do plexo braquial (1985-1990) avaliadas naquele centro, uma única consistia em lesão isolada da raiz de C7 por faca. O exame físico deste paciente não mostra distúrbios motores significativos, mas apenas sinal de Tinel na ferida no pescoço e parestesia no dorso dos dedos longos. Após reconstrução com enxerto, não percebem alterações significativas em comparação com os achados pré-operatórios, com exceção da resolução parcial do sinal de Tinel cervical positivo. Este relato de déficit mínimo após lesão isolada da raiz de C7 encorajou os autores a realizarem 15 transferências da raiz contralateral (Figura 9), conectada a um enxerto vascularizado de n. ulnar para o nervo alvo (7 para nervos do plexo e 8 para retalho muscular funcional livre do m. grácil). Resultados são apresentados apenas para os 8 casos transferidos para músculo funcional, sendo que cinco obtêm força motora maior ou igual a M3 e três força M2. Os autores afirmam que todos os pacientes evoluem com déficit mínimo sensitivo motor do membro doador, porém sem detalhes adicionais.

**Figura 9 -** Diferentes métodos para a transferência da raiz de C7 contralateral



Fonte: Chuang et al. (1993)<sup>5</sup>.

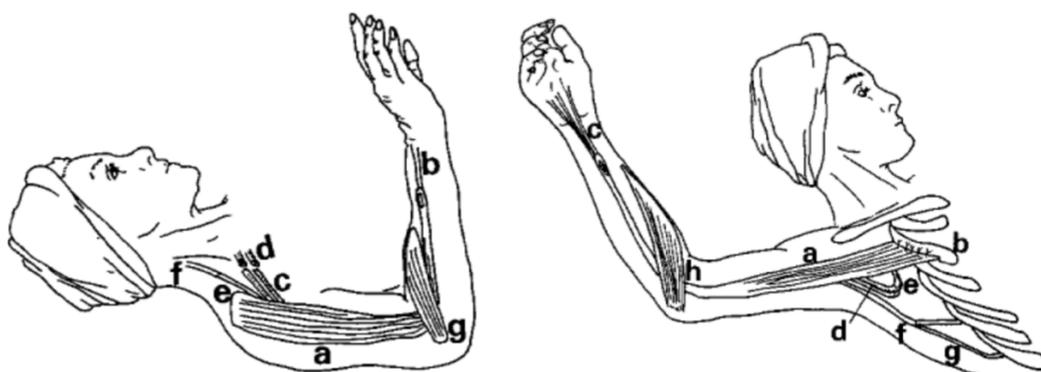
Legenda: VUNG: nervo ulnar vascularizado; M: nervo mediano, U: nervo ulnar.

Chuang et al.<sup>49</sup>, em 1993, relatam o tratamento de 167 pacientes vítimas de lesão do plexo braquial, sendo 128 submetidos à reconstrução de nervo (sutura direta, enxertos convencionais de raízes viáveis, enxerto vascularizado de nervo e transferências de nervos intercostais, n. espinhal acessório e frênico), enquanto 39 doentes recebem transferências musculares (17 de forma livre; 16 m. grácils e um m. reto femoral). Quatorze dos 17 músculos funcionais livres (82%) transferidos atingem força muscular maior ou igual a M3. Resumem que a reconstrução de nervo é superior às transferências musculares; a sutura direta foi superior ao enxerto de nervo; enxertos de nervo curto (<10 cm) são superiores aos enxertos de nervo longo (> 10 cm); lesões do plexo infraclavicular culminam em melhores resultados que lesões supraclaviculares; enxertos de nervo ulnar vascularizado são superiores aos enxertos convencionais longos de nervo; presença de avulsões de raízes levam a piores resultados. A transferência do nervo intercostal para o nervo musculocutâneo tem resultados satisfatórios.

Em 1996, Chuang et al.<sup>50</sup> relatam 38 transferências de músculo livre funcional para restauração da flexão do cotovelo. Trinta e cinco pacientes apresentam lesão do plexo braquial, enquanto três têm comprometimento muscular com déficit de flexão. O músculo grácil é usado em 34 pacientes e o músculo reto femoral em quatro, inervados pelos seguintes nervos doadores: musculocutâneo (n = 3), intercostal (n = 31) e espinhal acessório (n = 4). A reinervação com o nervo musculocutâneo resulta em força muscular M4 em todos os casos após um ano. Após dois anos, 78% dos pacientes que recebem 3 nervos intercostais (n = 23) atingem força muscular M4. Já o uso do nervo espinhal acessório (n = 4) possibilita força muscular apenas M2 após três anos de acompanhamento, e os autores ponderam que, provavelmente, a necessidade de enxerto de nervo nestes casos ( $\leq 5$  cm) limita os resultados.

Doi et al.<sup>51</sup>, em 1996, publicam técnica preliminar que utiliza duas transferências musculares livres do m. grácil, a primeira para flexão do cotovelo, seguida de nova cirurgia para extensão de punho e flexão de dedos (Figura 10). A primeira operação consiste no transplante muscular ancorado na clavícula, vasos anastomosados ao tronco toracoacromial e o nervo motor é o espinhal acessório. A segunda operação, cinco meses após a inicial, transfere um segundo m. grácil para a terceira costela, o vaso utilizado é a artéria toracodorsal e os nervos motores são o quinto e sexto nervos intercostais. A paciente atinge força muscular de flexão do cotovelo e dedos grau M4, em avaliação 36 meses após o início do tratamento.

**Figura 10 -** Diagramas da transferência muscular dupla



Fonte: Chuang et al. (1993)<sup>5</sup>.

Legenda: Esquerda: primeira etapa (flexão do cotovelo) (a) = retalho muscular funcional; (b) = tendão extensor comum dos dedos; (c) = artéria e veias do retalho do m. grácil; (d) = tronco toracoacromial e veia cefálica; (e) = nervo motor para o m. grácil; (f) = nervo espinhal acessório; (g) = músculos braquiorradial e extensores radiais longo e curto do carpo atuando como polia. À direita: segunda etapa (extensão do punho e flexão dos dedos) (a) = retalho muscular funcional; (b) = terceira costela; (c) = tendões flexores profundos dos dedos; (d) = artéria e veias do retalho do m. grácil; (e) = artéria e veia toracodorsal; (f) = nervo motor para o m. grácil; (g) = quinto e sexto nervos intercostais; (h) = musculatura flexopronadora atuando como polia.

Doi et al.<sup>10</sup>, em 2000, revisitam sua casuística estudando 32 transferências duplas de músculo funcional para flexão de cotovelo e extensão de punho associada à flexão de dedos. Vinte e seis pacientes foram avaliados por, pelo menos, 24 meses após a segunda cirurgia (26/32, 81%). Força de flexão do cotovelo maior ou igual a M3 é observada em 25 dos 26 pacientes (96%) e preensão satisfatória (mais de 30 graus do movimento ativo total dos dedos), em 17 de 26 pacientes (65%).

Hattori et al.<sup>11</sup>, em 2001, estudam a medição intraoperatória da atividade da colina acetiltransferase (CAT) para avaliação do estado funcional dos nervos doadores na transferência muscular livre. Doze pacientes são submetidos a esta dosagem; o músculo grácil é transferido em todos os casos. Os nervos doadores avaliados pela atividade de CAT são: 5 nervos espinhais acessórios, 4 nervos interósseos posteriores, 2 nervos interósseos anteriores e

1 nervo fibular profundo. Fascículos com atividade CAT maior que 2.000 cpm são considerados confiáveis e transferidos como nervos motores doadores. Todos os músculos apresentam reinervação após 3,2 meses (2-5 meses) e obtêm força muscular maior que M3.

Sungpet et al.<sup>52</sup>, em 2003, relatam, de maneira pioneira, o uso de um fascículo do nervo ulnar para inervar três transferências musculares livres do m. grácil para flexão do cotovelo, em pacientes vítimas de lesões parciais do plexo braquial. O período médio de seguimento é de 33,3 meses, e o tempo médio de reinervação do músculo grácil é de 3,7 meses. Todos os pacientes atingem força de flexão do bíceps maior que M3, e os autores ponderam que a transferência de fascículo do nervo ulnar, conforme popularizado por Oberlin et al.<sup>3</sup>, é tática útil também no transplante muscular funcional livre.

Barrie et al.<sup>7</sup>, em 2004, estudam 26 pacientes que são submetidos à transferência livre do músculo grácil para flexão do cotovelo, utilizando como nervos doadores os nervos intercostais ou nervo espinhal acessório. Um ano após a cirurgia, relatam força muscular maior ou igual a M4 em 66% dos casos.

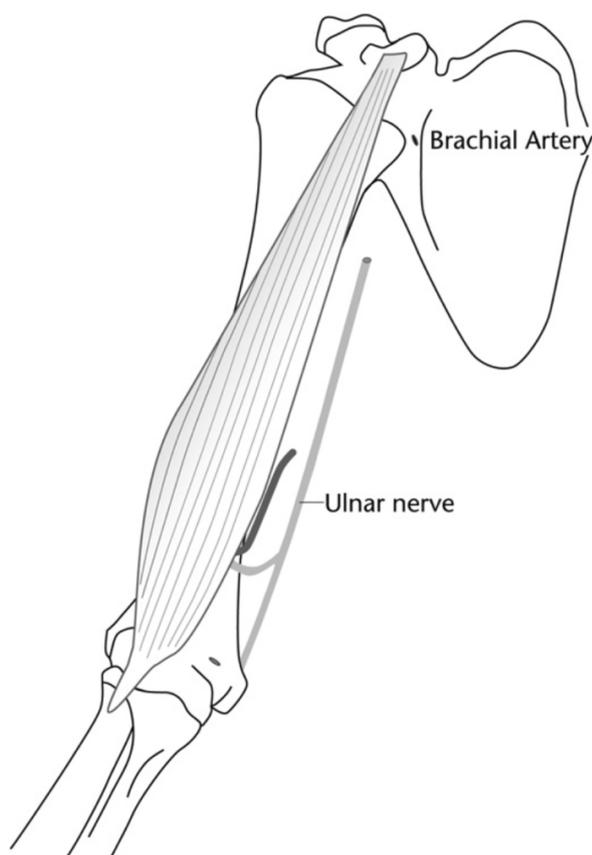
Kay et al.<sup>53</sup>, em 2010, estudam 33 pacientes submetidos à transferência muscular funcional livre do m. grácil para flexão do cotovelo. Vinte e seis pacientes são do sexo masculino e 20 são crianças. As indicações para transplante incluem paralisia braquial obstétrica (n=13), lesão do plexo braquial em adultos (n=12), artrogripose (n=4), sarcoma, poliomielite e displasia radial. Setenta por cento (23/33) dos pacientes obtêm força muscular maior ou igual a M3 (M5 em dois pacientes, M4 em 19 e M3 em três). Pacientes com paralisia obstétrica têm o melhor resultado, com 100% destes apresentando força pré-operatória de M2 ou menos, passando para 92% (12/13) de pacientes com força M4 ou mais no pós-operatório. Nesta série, melhor resultado global é alcançado quando nervos intercostais são transferidos (ganho médio de três graus na escala BMRC, DP=1.3), em comparação à utilização de fascículos do nervo ulnar (ganho médio de 1,75 graus, DP=2 .3, p<0,05).

Kimura et al.<sup>8</sup>, em 2011, relatam 8 casos de transferência do m. grácil para bíceps em pacientes adultos apresentando lesão crônica do plexo braquial. Maior número de resultados satisfatórios (3/4, 75%  $\geq$ M4) é encontrado entre os pacientes submetidos à neurografia direta do nervo doador ao nervo do retalho, enquanto o transplante muscular funcional livre utilizando enxerto leva a piores resultados (1/4, 25%  $\geq$ M4).

Chin et al.<sup>12</sup>, em 2013, relatam dois pacientes apresentando lesão parcial do plexo braquial que recebem transplante funcional livre invertido do m. grácil, com sua porção proximal suturada ao ventre muscular no m. bíceps no braço e seu tendão ancorado ao processo coracoide da escápula. O pedículo vascular do retalho é conectado a ramo para o m. bíceps da

artéria braquial, e fascículo do nervo ulnar é utilizado como motor (Figura 11). Os autores defendem que, desta maneira, o procedimento é mais simples e leva à melhor cosmese, pois o ventre muscular do grácil substitui o m. bíceps atrofiado. Ambos os pacientes obtêm força muscular maior ou igual a M3.

**Figura 11** - Retalho do músculo grácil transferido de maneira invertida no membro superior, com sua origem suturada ao m. bíceps e o tendão ancorado ao processo coracoide



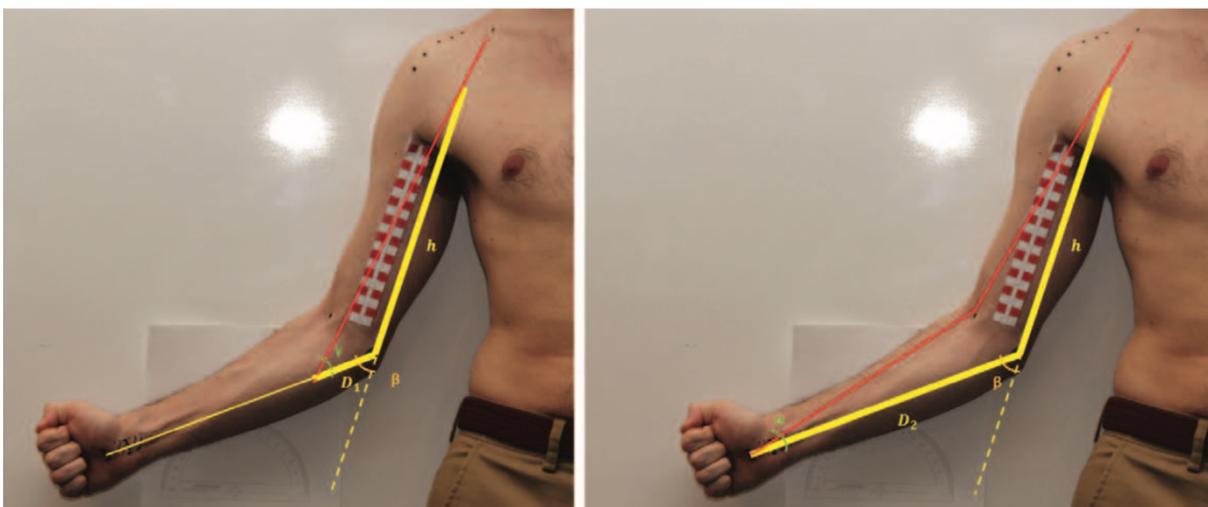
Fonte: Chin et al. (2013)<sup>12</sup>.

Em 2016, Yang et al.<sup>54</sup> publicam série de 47 pacientes que recebem transferências livres do m. grácil para flexão de cotovelo, extensão do punho e flexão de dedos, com ênfase em seu impacto na qualidade de vida dos pacientes. A idade média é de 26,3 (16-42) anos, com período médio de acompanhamento de 54,5 meses (12-185 meses). Registram força muscular M3 em 35,71% e M4 em 50,00% dos participantes, com ADM média de flexão do cotovelo de 106,5° (0-142°) e 17,00° (0-72°) de extensão do punho. Escore DASH médio é de 51,14 (17,5-90,8). A prevalência de ansiedade e depressão é de 42,86% e 45,24%, respectivamente. Trombose (2/47, 4,2%) e corda de arco são as complicações mais comuns em curto e longo prazo, respectivamente.

Maldonado et al.<sup>9</sup>, em 2017, publicam série de 39 pacientes submetidos à transferência

muscular livre do músculo grácil com inserção seja no tendão do músculo bíceps braquial (29 pacientes) seja mais distalmente, no tendão flexor comum dos dedos e flexor longo do polegar (com polia no antebraço para permitir flexão concomitante do cotovelo) (10 pacientes). Os grupos são comparados quanto à força de flexão do cotovelo, qualidade de vida e amplitude de movimento, além de análise biomecânica simulando diferentes inserções do tendão do retalho livre. Encontram que 20 dos 26 pacientes (76%) que receberam o nervo espinhal acessório como doador atingiram força muscular M3 ou superior, enquanto 9 de 13 (69%) do grupo intercostal demonstram o mesmo nível de força. Análise biomecânica evidencia que a inserção tendinosa mais distal do tendão do músculo grácil transferido gera um torque 15 a 30% maior (Figura 12).

**Figura 12 -** Análise entre os diferentes pontos de ancoragem da transferência muscular livre do m. grácil



Fonte: Maldonado et al. (2017)<sup>9</sup>.

Legenda: Inserção no bíceps (esquerda) e inserção no flexor profundo dos dedos/flexor longo do polegar (direita). Linha vermelha: transferência muscular livre do m. grácil; h: comprimento do úmero; D1: braço de alavanca (distância do eixo de rotação da articulação do cotovelo até o ponto em que a força muscular é aplicada) no modelo de bíceps; D2: braço de alavanca no modelo flexor profundo dos dedos/flexor longo do polegar;  $\gamma$ : ângulo entre a inserção do tendão do m. grácil e o raio;  $\beta$ : ângulo de flexão do cotovelo;  $\alpha$ : ângulo entre a inserção do tendão do m. grácil e o eixo do osso.

Em 2022, Hinchcliff et al.<sup>55</sup> revisam, retrospectivamente, os resultados de 106 transferências musculares livres do músculo grácil para flexão do cotovelo realizados na Clínica Mayo em Rochester, e encontram que o índice de massa corporal elevado e a idade influenciam negativamente no resultado da intervenção. Registram força M3 ou superior de flexão do cotovelo segundo o BMRC em 56,5% dos pacientes estudados, com índice de massa corporal médio de 27,1 kg/m<sup>2</sup>.

Por fim, Persad et al.<sup>56</sup>, em 2023, simulam seis transferências do músculo grácil para flexão do cotovelo em cadáveres frescos variando o local de inserção do músculo. A inserção mais distal (nos tendões do músculo braquiorradial ou flexor profundo dos dedos) resulta em um braço de momento instantâneo cerca de uma vez e meia maior que a inserção tradicional no tendão do bíceps próximo à tuberosidade do rádio. Concluem que inserções mais distais podem resultar em força de flexão do cotovelo mais forte para os pacientes operados.

### 3.5 RECONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL DOS MÚSCULOS COMO FERRAMENTA PARA ESTUDOS ANATÔMICOS

Lieber et al.<sup>57</sup>, no ano 2000, discutem como a disposição estrutural das fibras musculares dentro de um músculo (sua arquitetura) é um determinante primário da função muscular. Descrevem três principais tipos de arquitetura muscular:

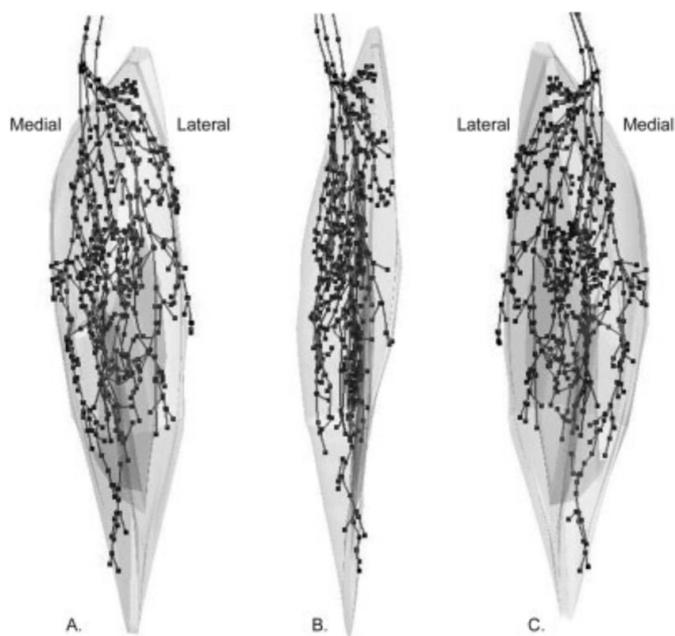
1. Arquitetura paralela/longitudinal: As fibras musculares correm paralelamente ao eixo gerador de força (por exemplo, bíceps braquial);
2. Arquitetura unipenada: As fibras musculares estão orientadas em um único ângulo em relação ao eixo gerador de força (por exemplo, vasto lateral);
3. Arquitetura multipenada: As fibras musculares correm em múltiplos ângulos em relação ao eixo gerador de força (por exemplo, glúteo médio).

Explicam ainda como métodos experimentais foram desenvolvidos para quantificar parâmetros arquitetônicos chave, como comprimento das fibras musculares, ângulo de penação e área de secção transversal fisiológica (ASTF). A ASTF é diretamente proporcional à capacidade máxima de geração de força de um músculo. Além disso, discutem como as fibras musculares podem girar e mudar o ângulo de penação durante a contração, o que impacta a produção de força e a velocidade da contração. Isso desafia a suposição de ângulo de penação constante usada nos modelos tradicionais usados para estimar a arquitetura muscular (por exemplo, ultrassonografia ou estudos fotográficos que restringem os modelos a duas

dimensões). Em suma, o estudo destaca como a compreensão da arquitetura do músculo esquelético fornece importantes informações sobre a função muscular, o controle do movimento e sua relevância para intervenções clínicas, como cirurgias de transferência tendinosa ou muscular.

Em 2003, Loh et al.<sup>58</sup> documentam os padrões de distribuição dos nervos que inervam o músculo sóleo utilizando modelagem computacional em 3D. Dissecam e digitalizam desde a origem dos ramos no nervo tibial até diminutas ramificações no interior do músculo e definem que o sóleo possui três porções distintas: posterior, anterior e marginal. Encontram nervos que se ramificam e comunicam as regiões, sugerindo uma interação complexa para a manutenção do equilíbrio. A reconstrução tridimensional permite visualizar detalhadamente a profundidade e as relações espaciais dos nervos dentro das diferentes regiões musculares, o que é difícil de capturar com desenhos ou fotografias em 2D (Figura 13). A modelagem 3D permitiu visualizar a profundidade e as relações espaciais dos nervos dentro do músculo, contribuindo para a compreensão detalhada das subdivisões neuromusculares do sóleo. O estudo auxilia no desenvolvimento de modelos mais realistas da função muscular e na compreensão do comportamento normal e patológico do músculo.

**Figura 13 -** Vistas do músculo sóleo



Fonte: Loh et al.<sup>58</sup>.

Legenda: Modelo. A: Posterior. B: Lateral. C: Anterior.

Ravichandiran et al.<sup>59</sup>, em 2009, desenvolvem de maneira pioneira algoritmos computacionais para quantificar e comparar parâmetros arquiteturais dos músculos, como comprimento dos feixes de fibras musculares, ângulo de penetração e volume, além da área de secção transversal fisiológica (ASTF) dos músculos extensor radial longo (ERLC) e curto do carpo (ERCC). Estes músculos são, comumente, utilizados em transferências tendíneas e a compreensão de sua capacidade de geração de força, derivada de sua área de secção transversal fisiológica, é de grande valia para seu uso clínico. Os pesquisadores dissecam e digitalizam feixes de fibras musculares que compõem o volume do ERLC e ERCC de oito espécimes cadavéricos embalsamados, definindo que a ASTF e o comprimento dos feixes de fibras eram significativamente diferentes entre o ERLC e ERCC ( $p \leq 0,05$ ). Os dados digitalizados foram reconstruídos em 3D usando algoritmos computacionais implementados em Python. Concluem que a compreensão detalhada dos parâmetros arquiteturais e da ASTF obtida pela reconstrução tridimensional auxilia no desenvolvimento de modelos mais realistas da função muscular e na compreensão do comportamento das transferências tendíneas.

Fattah et al.<sup>60</sup>, em 2013, realizam estudo tridimensional (3D) detalhado da arquitetura musculotendinosa e neurovascular do músculo grácil, com aplicações para sua transferência funcional (Figura 14). Utilizando um método inovador, os pesquisadores digitalizam o arranjo dos feixes de fibras musculares e estruturas neurovasculares, criando um modelo digital 3D a partir de 20 músculos grácil colhidos de 15 cadáveres embalsamados. Definem que o músculo grácil é composto por um número variável de segmentos longitudinais distintos, e que a artéria principal e nervo correm entre estes segmentos. Destacam a versatilidade do uso do músculo grácil em cirurgia reconstrutiva e enfatizam seu potencial para transferências mais sofisticadas devido à sua arquitetura segmentada, que, teoricamente, permitiria a ativação de mais de um segmento de forma separada. Concluem que a técnica de digitalização e reconstrução 3D contribui para a compreensão da arquitetura intramuscular e demonstra o potencial do músculo grácil para transferências funcionais mais refinadas, fornecendo informação valiosa para aplicações clínicas, particularmente no design de retalhos em cirurgia reconstrutiva.

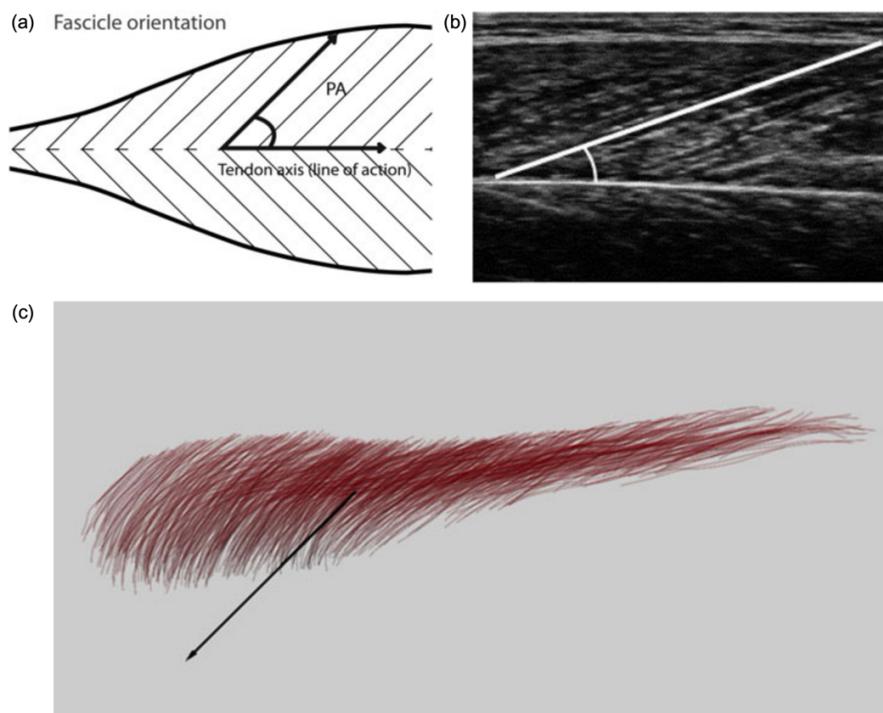
**Figura 14 -** Arquitetura muscular e neurovascular do músculo grácil



Fonte: Fattah et al.<sup>60</sup>.

Legenda: A) Os feixes de fibras musculares foram organizados em 5 compartimentos distintos (codificados por cores) neste espécime. As fibras anteriores são as mais longas (rosa). B) A relação do nervo e da artéria com os feixes de fibras musculares é mostrada enquanto correm entre os compartimentos musculares. Para maior clareza, o nervo está colorido de preto e os compartimentos musculares estão coloridos alternadamente em amarelo e verde.

Lee et al.<sup>61</sup>, em 2015, desenvolvem um método tridimensional (3D) para quantificar o ângulo de penação (AP) e a linha de ação de músculos esqueléticos com base em dados arquiteturais obtidos de espécimes cadavéricos por meio de dissecação, digitalização e reconstrução 3D dos feixes de fibras. Este método estuda a correspondência entre avaliações por ultrassom (imagens em duas dimensões) e a arquitetura muscular tridimensional dos músculos. Analisam a geometria das inserções dos feixes de fibras musculares para estimar a linha de ação e calcular o AP de forma consistente em diferentes arquiteturas musculares (Figura 15). Os pesquisadores comparam avaliações por ultrassom (2D) com os modelos obtidos por reconstrução 3D. Obtêm diferenças significativas (1,1-47,1%) entre as medições dos ângulos de penação em 2D e 3D, dependendo da arquitetura muscular. Músculos em forma de leque exibem diferença substancial do ângulo de penação entre os métodos, enquanto músculos fusiformes apresentam variação menor. Concluem que avaliações por métodos 2D, geralmente, subestimam o AP, exceto para músculos fusiformes, e entendem que avanços na compreensão da arquitetura muscular têm implicações em biomecânica e fisiologia muscular.

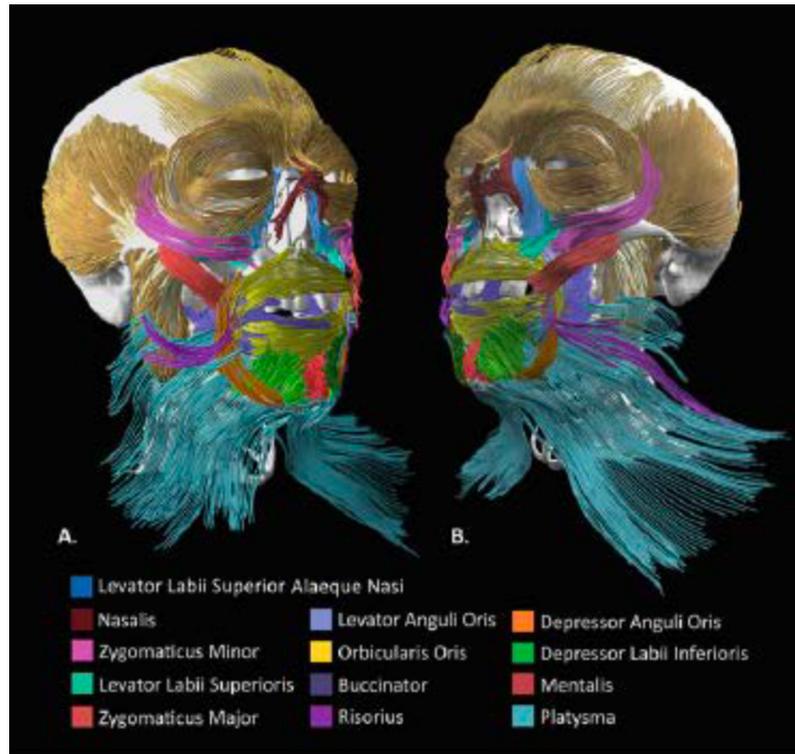
**Figura 15 -** Arquitetura muscular

Fonte: Lee et al.<sup>61</sup>.

Legenda: (a) Estimativa esquemática da linha de ação e angulo de penação (PA) (b) Medição dos mesmos parâmetros em uma imagem ultrassonográfica. (c) Estimativa da linha de ação (seta preta) e orientação dos fascículos musculares obtidas por reconstrução tridimensional.

Finalmente em 2021, Li et al.<sup>62</sup> publicam capítulo de livro detalhando técnicas de visualização e modelagem tridimensional dos músculos da face. Afirmam que, devido à ausência de dados anatômicos precisos, os programadores representam os rostos utilizados em reconstruções tridimensionais de forma simplista, resultando em uma distribuição homogênea de fibras musculares, que não correspondem à realidade. Os autores descrevem os avanços tecnológicos recentes que permitem a reconstrução tridimensional de músculos inteiros, utilizando dissecação, digitalização e modelagem 3D detalhada, ao nível dos feixes de fibras musculares e aponeuroses. O capítulo descreve o uso dessa tecnologia para modelar os músculos da face, permitindo recriar expressões faciais mais próximas das reais, além dos músculos da mastigação (Figura 16). A modelagem 3D detalha assimetrias e inter-relações complexas entre os músculos faciais individuais, sendo importante ferramenta para melhorar a fidelidade anatômica dos modelos biomecânicos e simulações.

**Figura 16 -** Modelos 3D dos músculos da mímica e mastigação



Fonte: Li et al.<sup>62</sup>.

## **4 MÉTODOS**

---

## **4 MÉTODOS**

### **4.1 SÉRIE DE CASOS RETROSPECTIVA**

#### **4.1.1 Desenho do estudo**

Conduzimos estudo observacional retrospectivo tipo série de casos, incluindo a totalidade dos pacientes do Instituto de Ortopedia e Traumatologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (IOT HC/FMUSP) com déficit de flexão do cotovelo secundário à paralisia pós-traumática do plexo braquial, submetidos à cirurgia de transferência muscular livre do grácil para bíceps, compreendendo o período de 2003 a abril de 2024.

#### **4.1.2 Aprovação na comissão de ética**

O estudo teve início após autorização concedida pelo Comitê de Ética em pesquisa da instituição e registro na Plataforma Brasil sob o número CAAE 52633015.0.0000.0068 (Anexo A).

#### **4.1.3 Custos**

A pesquisa não necessitou de recursos financeiros extraordinários, uma vez que consistiu em coleta e análise de dados provenientes de registros em prontuário, por membros do corpo clínico do IOT HC/FMUSP.

#### **4.1.4 População estudada**

No período entre fevereiro de 2003 a abril de 2024, 113 pacientes com lesão traumática do plexo braquial foram submetidos à transferência livre do músculo grácil para recuperação da flexão do cotovelo.

#### 4.1.5 Critérios de seleção

##### 4.1.5.1 Critérios de inclusão

Os critérios de inclusão para o presente estudo foram: a totalidade dos pacientes apresentando déficit de flexão do cotovelo secundário à paralisia pós-traumática do plexo braquial submetidos a retalho funcional livre do músculo grácil para bíceps braquial no IOT HC/FMUSP.

##### 4.1.5.2 Critérios de exclusão

Foram excluídos os pacientes que apresentaram perda do retalho muscular livre ou que registraram, no momento da avaliação, tempo de seguimento pós-operatório menor que 12 meses. Não foram considerados os resultados após cirurgias secundárias (Steindler e retensionamento distal da inserção do músculo grácil, por exemplo). Nestes, os resultados foram analisados após a transferência livre do grácil, antes das cirurgias adicionais.

#### 4.1.6 Variáveis analisadas

Foram coletados retrospectivamente, por meio de análise de prontuários, as seguintes variáveis: idade, sexo, mecanismo de trauma, lateralidade da lesão, nível da lesão, transferência de nervo utilizada para inervar o músculo grácil, tempo entre o trauma e o procedimento cirúrgico, idade do paciente no ato cirúrgico, força de flexão do cotovelo após um mínimo de 12 meses da transferência muscular livre, além de observações relevantes (complicações, cirurgias secundárias, traumas associados, etc.).

Os pacientes foram divididos em cinco grupos de acordo com o nervo transferido para o retalho funcional do músculo grácil: nervo espinal acessório (EA), nervos intercostais (IC), fascículo motor do nervo mediano (MED), fascículo motor do nervo ulnar (ULN) e nervo frênico (FRE).

A força muscular final de flexão do cotovelo foi avaliada pela escala da *British Medical Research Council* (BMRC)<sup>37</sup> (Tabela 1).

**Tabela 1 - Escala *British Medical Research Council* (BMRC)**

Grau de Força Muscular	
M0	Sem contração muscular
M1	Contração muscular que não resulta em movimento articular
M2	Contração muscular com movimento ao eliminar-se a força de gravidade
M3	Contração muscular efetiva contra a gravidade que porém não vence resistência
M4	Contração muscular que vence resistência
M5	Força muscular normal

#### 4.1.7 Cálculo da amostra

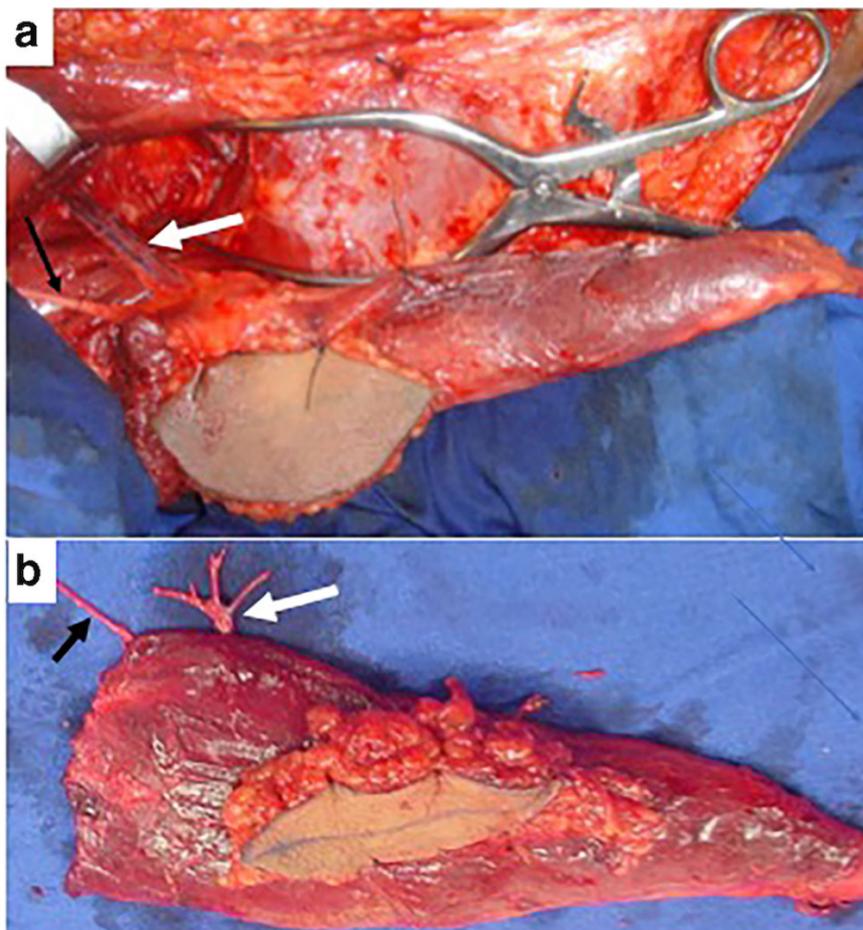
Baseando-se em estudos retrospectivos de séries de caso<sup>39,40,55</sup>, e suas comparações, definiu-se que grupos contendo 20 a 30 pacientes como suficientes para a adequada avaliação dos parâmetros propostos e realização de comparações entre os grupos.

#### 4.1.8 Técnica cirúrgica

##### **Dissecção do retalho do músculo grácil:**

O paciente foi posicionado em decúbito dorsal, a coxa abduzida e o joelho levemente fletido. O eixo do músculo grácil foi marcado posteriormente ao músculo adutor longo. Uma incisão medial no joelho foi realizada sobre a inserção do m. grácil na tíbia para identificação e secção do tendão do m. grácil, com o intuito de obter-se o maior comprimento possível deste. Procedeu-se com a realização de segunda incisão proximal na coxa para dissecção do ventre muscular, desde a pele, passando pelo tecido celular subcutâneo até o músculo. A fásia foi elevada do músculo anteriormente e o septo entre os mm. grácil e adutor longo foi identificado; pequeno fuso de pele recobrimdo o músculo e este septo foi elevado juntamente com o m. grácil para monitorizar a perfusão do retalho. O pedículo vascular do músculo grácil foi dissecado desde sua emergência da artéria femoral profunda até sua entrada no músculo. O ramo do nervo obturatório para o músculo grácil foi identificado desde sua saída do canal obturatório até sua entrada no ventre muscular. O músculo grácil foi, então, dissecado completamente, e sua aponeurose proximal foi separada do ramo isquiopúbico. O nervo foi seccionado de maneira a obtermos o maior comprimento possível deste (Figura 17).

**Figura 17 -** Dissecção do retalho do músculo grácil



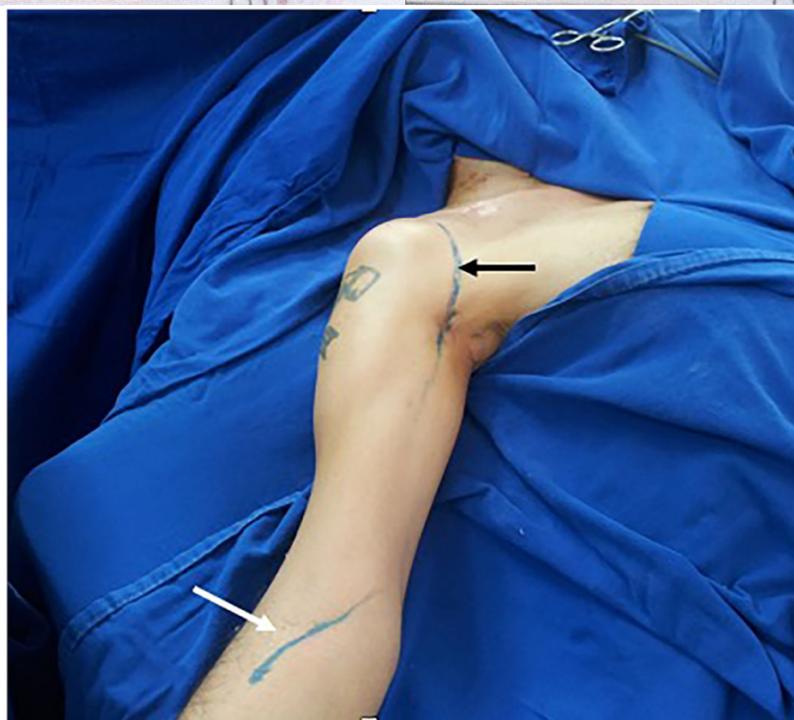
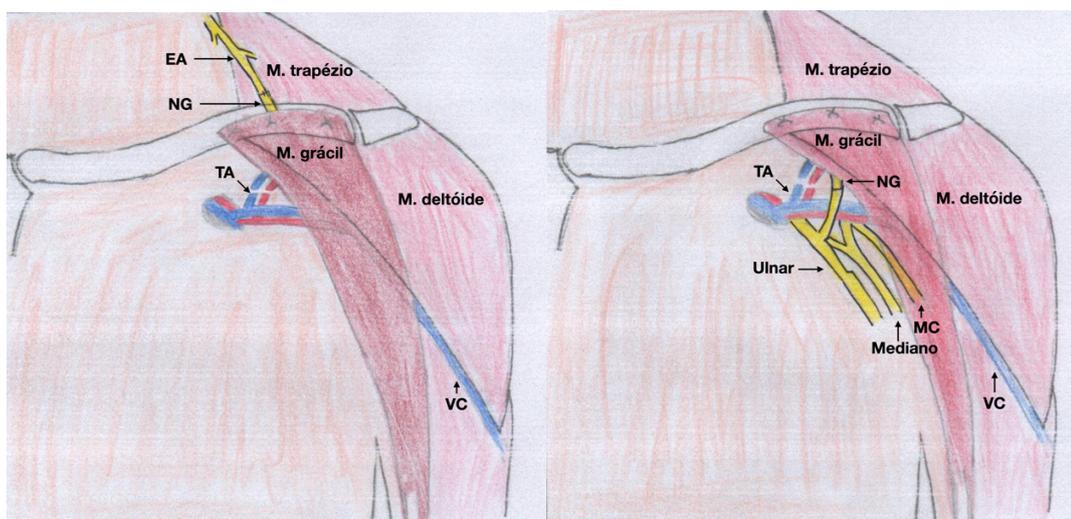
Fonte: Grupo de Mão e Microcirurgia do IOT HC/FMUSP.

Legenda: (a) Músculo grácil ainda pediculado próximo à área doadora. (b) Retalho do músculo grácil. Detalhe do ramo para o grácil do nervo obturatório (seta preta) e pedículo vascular contendo artéria e duas veias comitantes (seta branca).

### **Área receptora no membro superior:**

Para identificação dos nervos espinal acessório, fascículo do nervo ulnar ou mediano e nervo frênico, uma incisão supraclavicular associada a uma abordagem deltopeitoral estendida foi desenvolvida (Figura 18), juntamente com a exploração do tendão do músculo bíceps distalmente.

**Figura 18 -** Opções de nervos doadores e vias de acesso para a transferência livre do m. grácil

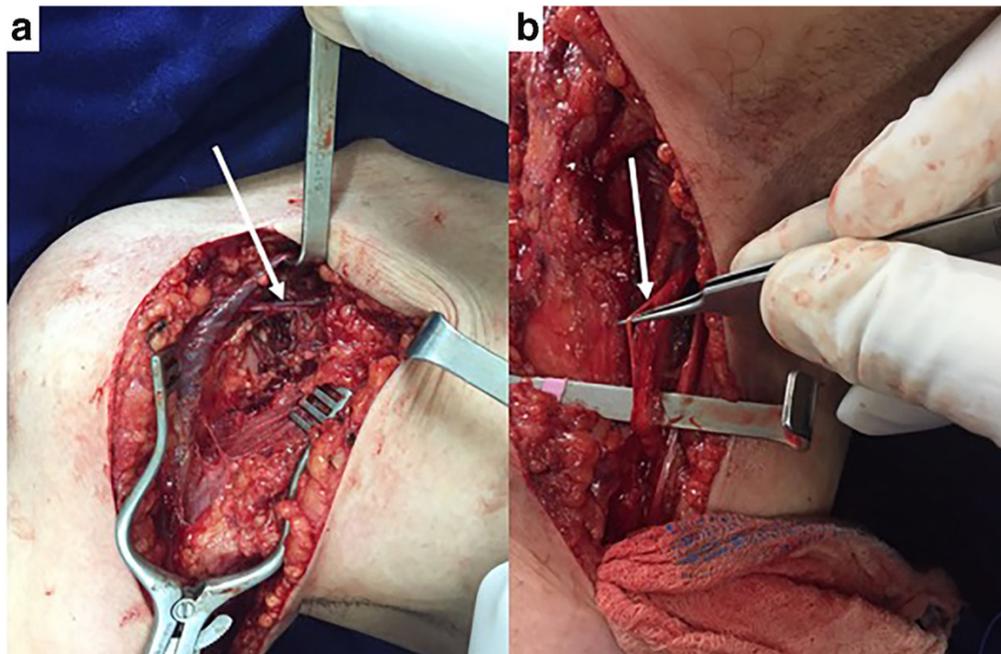


Fonte: Grupo de Mão e Microcirurgia do IOT HC/FMUSP.

Legenda: Acima a esquerda: Ilustração da transferência muscular livre utilizando o nervo espinal acessório (EA) como doador. Acima a direita: Utilização do fascículo do nervo ulnar (Ulnar). Foto: Incisões da área receptora. Via deltopeitoral estendida (seta preta). Via para exploração do tendão do músculo bíceps (seta branca). TA: tronco toracoacromial, NG: nervo para o músculo grácil, VC: veia cefálica, MC: nervo musculocutâneo, Mediano: nervo mediano.

O nervo espinal acessório, nervo frênico, nervo ulnar ou nervo mediano foram identificados. Os nervos doadores foram testados por meio de estimulação elétrica intraoperatória para avaliar sua integridade. A artéria toracoacromial e veias comitantes assim como a veia cefálica foram os vasos mais utilizados (grupos EA, ULN, MED e FRE), com anastomose término-terminal destes vasos com o pedículo do m. grácil (Figura 19).

**Figura 19 -** Seleção dos vasos receptores e nervo doador

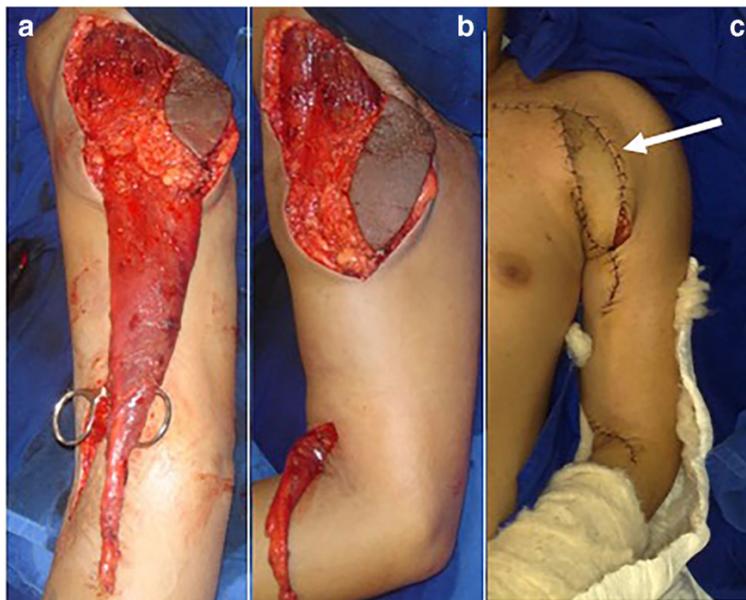


Fonte: Grupo de Mão e Microcirurgia do IOT HC/FMUSP.

Legenda: (a) Tronco toracoacromial, ramo acromial (seta branca). (b) Exemplo de dissecação de fascículo do nervo mediano (seta branca).

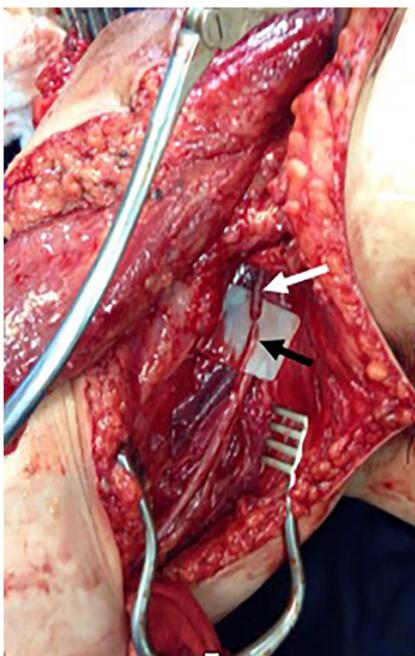
Para obtenção de, pelo menos, dois nervos intercostais, quando escolhidos como nervos doadores, foi realizada incisão transversa no tórax ipsilateral à lesão do plexo braquial. Os nervos intercostais de número quatro e cinco foram os mais comumente dissecados, de seu trajeto na linha axilar média até suas ramificações distais próximo ao manúbrio esternal. Após elevação, as extremidades dos nervos dissecados foram, então, mobilizadas até a região proximal do braço, sendo conectados ao músculo grácil fixado à terceira costela. Neste contexto, os vasos utilizados foram a artéria toracodorsal e veias comitantes.

O retalho funcional livre do músculo grácil foi fixado ao acrômio e à porção lateral da clavícula preferencialmente (grupos EA, ULN, MED, FRE e IC) (Figura 20) ou à costela (IC anastomosado aos vasos toracodorsais), sendo, então, realizadas as anastomoses microvasculares (Figura 21). Procurou-se manter o tempo de isquemia do retalho abaixo de 60 minutos. O tendão do músculo grácil foi suturado à inserção do tendão do bíceps com tensão suficiente para manter o cotovelo fletido em cerca de 20 a 30 graus<sup>9,51</sup>. Por fim, foi realizada a transferência dos nervos doadores selecionados para o nervo do retalho, geralmente, por meio de neurorrafia direta (sem interposição de enxerto). O paciente foi autorizado a deambular sem auxílio desde o primeiro dia pós-operatório. O membro superior foi mantido em tipoia por, pelo menos, 4 semanas.

**Figura 20 -** Retalho funcional livre do músculo grácil

Fonte: Grupo de Mão e Microcirurgia do IOT HC/FMUSP.

Legenda: (a) Músculo grácil posicionado no sítio receptor após sua fixação proximal e (b) após a tunelização do retalho entre a pele do braço e seu plano muscular. (c) Pele do monitor do grácil suturada proximalmente (seta branca).

**Figura 21 -** Preparação para a neurorrafia

Fonte: Grupo de Mão e Microcirurgia do IOT HC/FMUSP.

Legenda: Transferência de fascículo do nervo ulnar (seta preta) para o ramo do nervo obturador (seta branca) que inerva o m. grácil.

#### 4.1.9 Análise estatística

A comparação de variáveis categóricas entre os cinco grupos foi realizada utilizando o Teste Exato de Fisher e as variáveis contínuas foram comparadas utilizando o teste de Kruskal-Wallis.

Análise estatística foi realizada com o software SPSS v.20 (IBM SPSS *Statistics for Windows*, Version 20.0.; IBM Corp., USA) ou R v.2.12.0 (version 2.12.0; *R Foundation for Statistical Computing*, Áustria). Em todas as análises, valores de p menor que 0,05 foram considerados como estatisticamente significantes.

### 4.2 ESTUDO ANATÔMICO

#### 4.2.1 Espécimes

Simultaneamente à avaliação da série de casos de transferências musculares livres foi conduzido na Universidade de Toronto (Ontário, Canadá) estudo anatômico compreendido por dissecação e reconstrução tridimensional das peças, objetivando comparar os músculos grácil e bíceps braquial, bem como nervos e vasos da vizinhança, em cadáveres preservados em formalina (Anexo B). Três membros inferiores (2 direitos, 1 esquerdo) e três membros superiores (1 direito, 2 esquerdos) foram colhidos de seis cadáveres (4 masculinos, 2 femininos). Os espécimes não apresentavam evidências de doença, deformidade ou dano aparente à pele, aos ossos, músculos, aos nervos e/ou aos vasos (Figuras 22 e 23).

**Figura 22 -** Membro inferior esquerdo



Fonte: Produção do autor.

Legenda: Acima: Membro inferior esquerdo antes do início da dissecação. Abaixo: Membro preparado para início da digitalização. Asterisco preto: músculo sartório. Asterisco vermelho: músculo grácil. Seta preta: veia safena magna.

**Figura 23 -** Membro superior direito

Fonte: Produção do autor.

Legenda: Acima: Membro superior direito antes do início da dissecação. Abaixo: Membro preparado para início da digitalização. Asterisco preto: músculo peitoral maior. Asterisco vermelho: músculo bíceps. Seta preta: veia cefálica.

#### 4.2.2 Dissecção

A peça anatômica foi preparada retirando-se a pele, tecido celular subcutâneo e a fáscia muscular, e fixada a uma bandeja de plástico de alta densidade por meio de placas e parafusos de metal para estabilização (Figura 24).

**Figura 24 -** Membro inferior e superior estabilizados para início da dissecção e digitalização



Fonte: Produção do autor.

Legenda: Acima: Membro inferior esquerdo estabilizado para permitir a obtenção de pontos tridimensionais com o digitalizador. Abaixo: Membro superior preparado da mesma maneira. Asterisco vermelho: músculo grácil. Asterisco preto: músculo bíceps.

O membro foi digitalizado, inicialmente, pelas estruturas superficiais com subsequente dissecção mais profunda e registro digital destes tecidos para construir um modelo 3D de alta fidelidade dos músculos grácil e bíceps braquial, nervos, pedículos vasculares, musculatura vizinha e pontos de referência ósseos relevantes (Figura 25).

**Figura 25 -** Bancada preparada para o início da dissecação e digitalização das estruturas anatômicas da coxa esquerda



Fonte: Produção do autor.

Os pontos de digitalização foram coletados usando um digitalizador Microscribe G2 (*Immersion Corporation*, San Jose, CA, EUA) (Figura 26), que atribui a cada ponto marcado no espaço um valor de coordenada  $x$ ,  $y$  e  $z$  em relação aos pontos de referência e cria uma representação tridimensional do objeto estudado.

**Figura 26 -** Digitalizador Microscribe G2 e exemplo de sua utilização



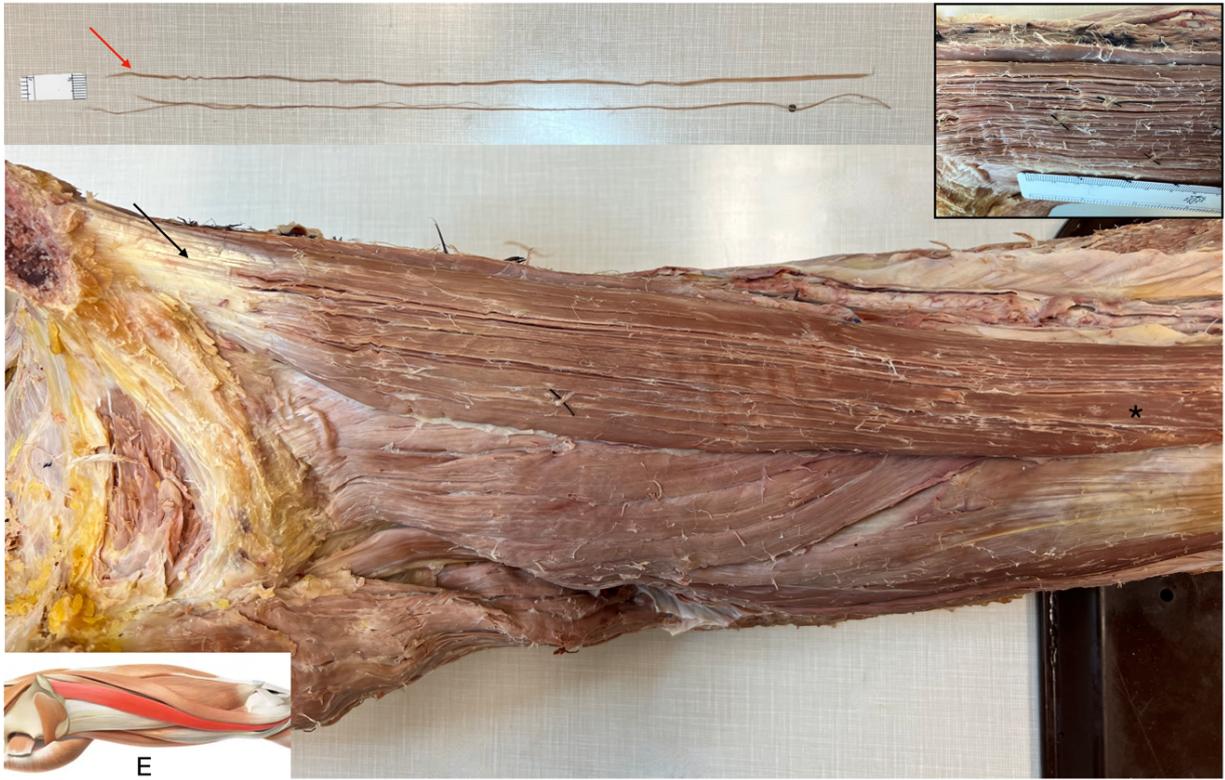
Fonte: [www.immersion.com](http://www.immersion.com).

### 4.2.3 Digitalização

Uma digitalização inicial foi realizada para construir um modelo volumétrico do músculo; posteriormente, nervos e pedículos vasculares principal e secundários que adentravam este músculo foram dissecados sob magnificação com lupa de 4,5x e digitalizados.

O músculo grácil foi dissecado e digitalizado seguindo o protocolo assim definido: começando com as fibras mais anteriores no púbis, feixes de fibras musculares individuais foram digitalizados feixe por feixe (Figura 27) por toda a totalidade do músculo grácil até atingirmos a fáscia profunda do músculo. Neste momento, as ramificações do nervo para o músculo grácil e do pedículo vascular tornaram-se evidentes, sendo possível proceder com sua digitalização completa (Figura 28).

**Figura 27 -** Dissecção e digitalização do m. grácil, após a retirada da veia safena magna e dos feixes de fibras musculares superficiais



Fonte: Produção do autor.

Legenda: Abaixo: Início da digitalização do m. grácil, após a retirada da veia safena magna, m. sartório e fáscia anterior do m. grácil. Acima a direita: Alguns feixes de fibras musculares superficiais já foram digitalizados e retirados do músculo. Perfurantes cutâneas do músculo marcas com sutura preta. Asterisco preto: músculo grácil esquerdo. Acima a esquerda: Feixes de fibras musculares do músculo grácil digitalizadas e retiradas sequencialmente do músculo (cerca de 1 mm de espessura). Seta vermelha: Um feixe de fibras dissecado após digitalização. Seta preta: fibras aponeuróticas do m. grácil, de onde se originam alguns feixes de fibras musculares.

**Figura 28 -** Etapas da dissecação e digitalização do músculo grácil direito



Fonte: Produção do autor.

Legenda: Acima: músculo grácil direito parcialmente dissecado e digitalizado. Abaixo: Feixes de fibras musculares do m. grácil completamente dissecados e digitalizados, evidenciando a fáscia profunda do músculo e as ramificações vasculares e do nervo. Músculo adutor longo completamente retirado. Asterisco preto: músculo grácil direito. Asterisco vermelho: músculo adutor longo parcialmente retirado após digitalização para relevar os vasos femorais profundos. Seta vermelha: pedículo vascular principal do m. grácil. Seta preta: pedículo vascular secundário do m. grácil. Seta amarela: nervo para o m. grácil.

Já a dissecação e digitalização do músculo bíceps seguiram o seguinte protocolo: iniciando com as fibras mais anteriores e superficiais da cabeça longa do bíceps os feixes de fibras musculares individuais foram digitalizados de anterior para posterior feixe por feixe, com a cabeça curta sendo digitalizada em seguida.

Em ambos os músculos, as fibras aponeuróticas que dão origem às fibras musculares foram digitalizadas separadamente. Os tendões (tendão do m. grácil, tendão da cabeça longa do bíceps etc.) também foram dissecados retirando-se feixes finos do tendão para permitir a digitalização adequada, sendo estabilizados com alfinetes para garantir que a estrutura permanecesse imóvel durante todo o processo (Figura 29).

**Figura 29 -** Dissecção dos tendões

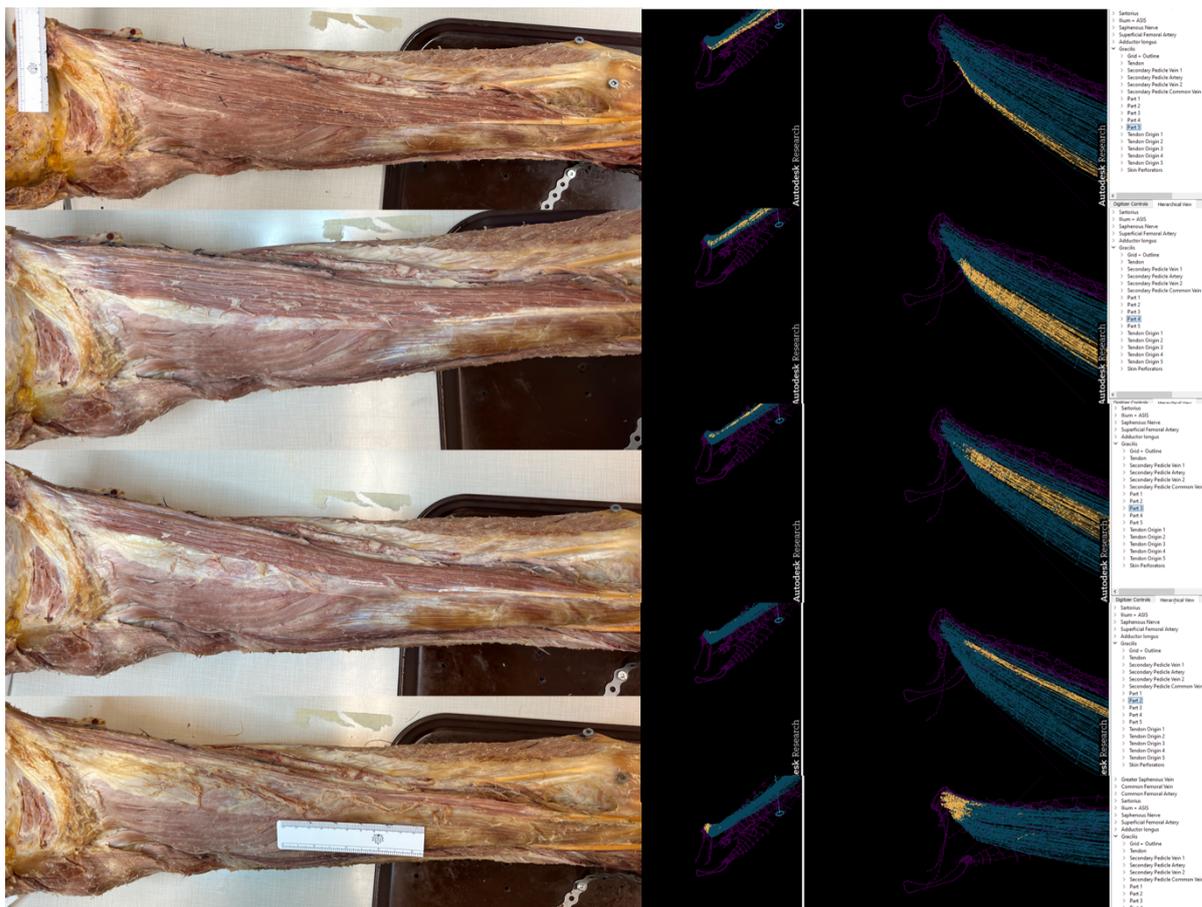


Fonte: Produção do autor.

Legenda: Acima: Tendão do músculo grácil esquerdo estabilizado por meio de alfinetes para digitalização sequencial. Abaixo: Tendão da cabeça longa do bíceps direito proximalmente e inserção do tendão do m. bíceps no rádio distalmente, fixados com alfinetes. Seta vermelha: tendão da cabeça longa do bíceps.

À medida que os feixes de fibras eram digitalizados e removidos sequencialmente (Figura 30), as estruturas neurovasculares eram registradas em seguida, permitindo a construção de um modelo preciso da anatomia intramuscular e das estruturas vizinhas.

**Figura 30 -** Feixes de fibras digitalizados e removidos sequencialmente



Fonte: Produção do autor.

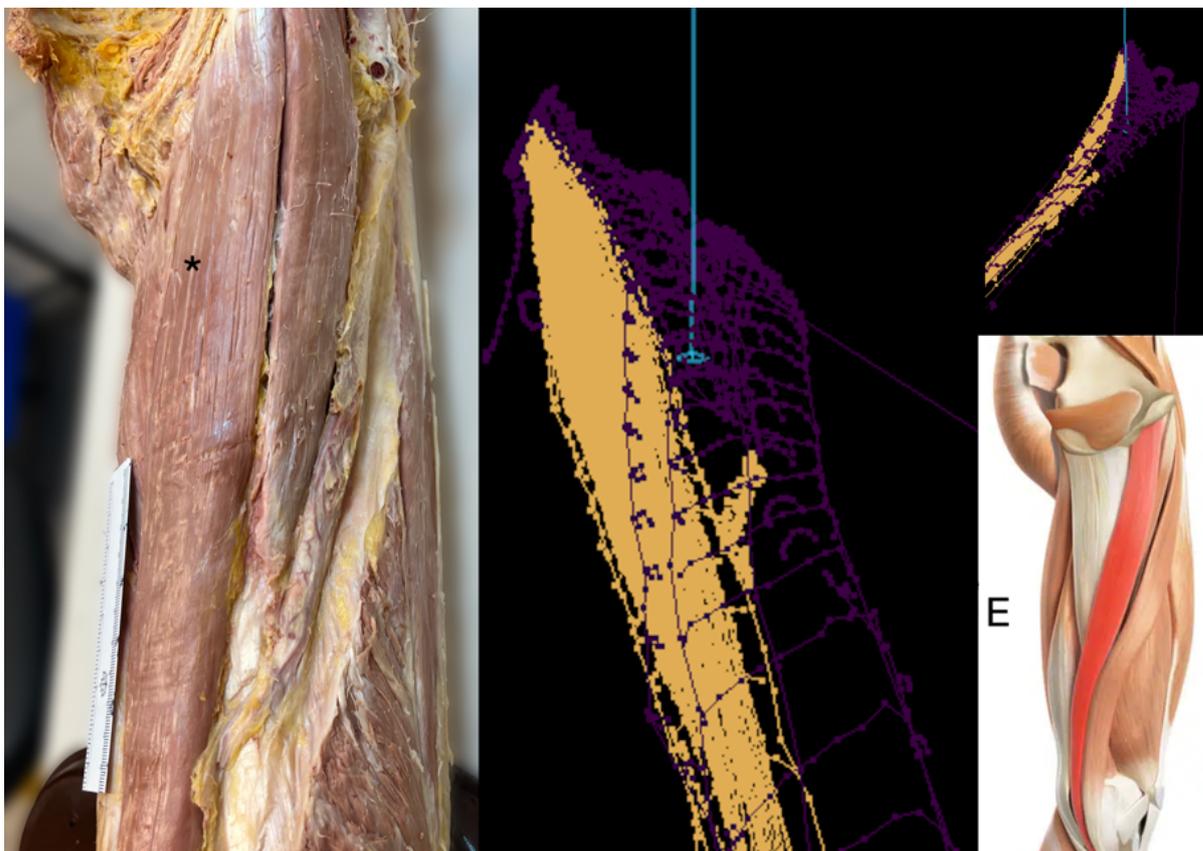
Legenda: À esquerda: dissecação sequencial do ventre do músculo grácil esquerdo, com os feixes de fibras registrados e retirados de superficial para profundo, e de posterior para anterior. A direita: vistas de frente e perfil dos feixes de fibras musculares digitalizados (em amarelo), dividindo o músculo em partes. Última imagem à direita registra em amarelo os feixes que formam a aponeurose proximal do m. grácil (Autodesk® Maya® 2012).

#### 4.2.4 Reconstrução 3D

Foi desenvolvido um software personalizado em C++ para exportar os dados anatômicos digitalizados para o Autodesk® Maya® 2012 (Autodesk, San Jose, CA, EUA: <http://www.autodesk.com/maya>). Estes dados foram processados em computador para criar uma representação visual do músculo neste software, permitindo estudar os músculos grácil (Figura 31), bíceps e as estruturas anatômicas vizinhas. *Plugins* adicionais criados no laboratório de anatomia da Universidade de Toronto foram utilizados para calcular os parâmetros arquiteturais dos músculos, incluindo comprimento dos feixes de fibras, ângulo de penação, área de secção transversal fisiológica e volume dos músculos.

Por fim, a peça anatômica restante (coxa com o grácil dissecado ou membro superior com o bíceps dissecado) foi escaneada utilizando um scanner tridimensional de alta definição FARO® Design Scanarm ([www.faro.com](http://www.faro.com)), resultando em um modelo 3D complementar ao músculo e estruturas vizinhas digitalizadas com o Microscribe®. A soma destes processos resultou em um modelo tridimensional completo do espécime original.

**Figura 31 -** Dissecção e representação digital do músculo grácil esquerdo



Fonte: Produção do autor.

Legenda: À esquerda: início da dissecção do m. grácil esquerdo. À direita: vistas oblíqua e de perfil do m. grácil durante sua digitalização (em amarelo), com pedículo principal. Em roxo: estruturas vizinhas digitalizadas (Autodesk® Maya® 2012). Asterisco preto: m. grácil esquerdo.

## **5 RESULTADOS**

---

## 5 RESULTADOS

### 5.1 SÉRIE DE CASOS RETROSPECTIVA

#### 5.1.1 Dados gerais

A amostra foi composta por 113 casos, sendo 8% (9) do sexo feminino e 92% (104) do sexo masculino. A média (mais desvio padrão) de idade no momento da cirurgia foi de 30,4+8,5 anos (17-57).

As lesões parciais representaram 40,7% (46), as lesões totais 58,4% (66) e 1 lesão do plexo braquial foi bilateral.

As lesões do lado esquerdo foram mais comuns, representando 54% dos casos (61/113).

No que se refere ao nível da lesão, 45,6% (21/46) das lesões parciais acometeram C5-C6 e 54,4% (25/46) C5-C6-C7.

Cinco nervos doadores foram estudados, com a seguinte distribuição de casos: nervo frênico em 3,5% (4) dos casos; nervo intercostal em 8,8% (10) dos casos; nervo mediano em 8,8% (10) dos casos; nervo espinhal acessório em 59,3% (67) dos casos e nervo ulnar em 19,5% (22) dos casos.

O tempo transcorrido da lesão até a cirurgia de transferência muscular livre do m. grácil foi de 38,7+33,6 meses (média mais desvio padrão).

Quatro pacientes foram excluídos devido à perda do retalho muscular livre transferido (4/113; 3,5%), três após trombose vascular irreversível do retalho e outro devido à infecção profunda, totalizando 109 pacientes incluídos no estudo. Os dados consolidados estão apresentados na Tabela 2.

O tempo médio de seguimento pós-operatório dos 113 pacientes foi de 119 meses (23 a 257 meses).

**Tabela 2 -** Dados gerais dos pacientes submetidos à transferência muscular livre do músculo grácil para flexão do cotovelo.

#	Sexo	Data da Lesão	Tipo Lesão	Nível	Causa da Lesão	Data da Cirurgia	ΔT cir. (meses)	Idade na cirurgia	Lado	Nervo	Força (BMRC)	Notado M3	Enxerto
1	M	23/03/2000	TOTAL		MOTO	07/02/2003	35	30	D	INTERCOSTAL	0		
2	M	25/04/2002	TOTAL		MOTO	23/04/2003	12	27	E	INTERCOSTAL	0		Sural
3	M	10/10/2001	TOTAL		ATROPELAMENTO	16/07/2003	21	36	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	0		Sural
4	M	04/01/2001	TOTAL		MOTO	04/09/2003	32	21	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	4	20/09/2005	Sural
5	M	08/09/2002	TOTAL		MOTO	09/10/2003	13	22	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	11/08/2005	Sural
6	M	17/12/2002	PARCIAL	C5-6	MOTO	17/12/2003	12	28	E	ULNAR	PR		
7	M	27/12/2001	TOTAL		BICICLETA	16/06/2004	30	21	D	INTERCOSTAL	4	19/06/2007	Sural
8	M	28/01/2003	PARCIAL	C5-6	MOTO	02/02/2005	25	24	E	ULNAR	3	08/11/2007	
9	M	20/07/2004	PARCIAL	C5-7	MOTO	22/11/2006	29	25	D	ULNAR	3	09/10/2007	
10	M	04/05/2006	PARCIAL	C5-6	MOTO	14/03/2007	10	39	D	ULNAR	4	11/04/2008	
11	M	03/05/2005	TOTAL		MOTO	04/11/2007	31	25	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	0		Sural
12	M	04/03/2007	TOTAL		MOTO	17/07/2008	17	24	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	4	13/01/2009	
13	M	24/01/2005	PARCIAL	C5-6	MOTO	19/11/2008	47	32	E	ULNAR	2		
14	M	08/06/2006	PARCIAL	C5-6	MOTO	25/03/2009	34	44	E	ULNAR	4	03/11/2010	
15	M	26/06/2008	TOTAL		MOTO	26/08/2009	14	20	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	4	07/05/2010	
16	M	25/12/2007	PARCIAL	C5-6	MOTO	18/11/2009	23	29	E	ULNAR	1		
17	M	24/08/2008	PARCIAL	C5-6	MOTO	07/04/2010	20	22	D	ULNAR	4	05/07/2013	
18	M	01/03/2003	PARCIAL	C5-6	MOTO	13/12/2010	95	24	E	ULNAR	4	24/10/2011	
19	M	05/10/2009	TOTAL		MOTO	27/01/2011	16	22	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	4	04/02/2013	
20	M	12/07/2009	PARCIAL	C5-7	MOTO	23/02/2011	20	21	E	ULNAR	4	04/10/2011	
21	M	10/07/2009	TOTAL		ATROPELAMENTO	21/03/2011	21	21	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	4	30/07/2012	
22	M	10/06/2010	PARCIAL	C5-6	MOTO	16/05/2011	11	34	E	ULNAR	4	13/03/2012	
23	M	17/04/2009	PARCIAL	C5-7	MOTO	18/05/2011	25	28	D	ULNAR	1		
24	M	28/02/2009	TOTAL		BICICLETA	13/06/2011	28	19	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	4	25/04/2012	
25	M	08/08/2002	TOTAL		MOTO	27/07/2011	109	33	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	29/05/2012	
26	M	22/10/2010	PARCIAL	C5-6	MOTO	08/08/2011	10	30	E	ULNAR	4	12/06/2012	
27	M	10/09/2010	PARCIAL	C5-7	MOTO	24/08/2011	12	24	D	ULNAR	2		
28	M	08/08/1998	PARCIAL	C5-6	ATROPELAMENTO	02/09/2011	159	35	D	ULNAR	1		
29	M	14/04/2000	PARCIAL	C5-6	AGRESSÃO	08/09/2011	139	17	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	19/11/2012	
30	M	10/08/2010	PARCIAL	C5-7	MOTO	10/11/2011	15	26	D	ULNAR	4	07/08/2012	
31	M	03/08/2009	TOTAL		MOTO	07/12/2011	29	24	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	2		
32	M	10/03/2006	TOTAL		MOTO	12/12/2011	70	32	E	INTERCOSTAL	4	16/07/2012	Sural
33	M	22/10/2003	TOTAL		MOTO	10/03/2012	102	51	E	INTERCOSTAL	0		Sural
34	M	03/04/2011	PARCIAL	C5-6	MOTO	28/03/2012	12	19	E	ULNAR	2		
35	M	28/06/2005	PARCIAL	C5-6	MOTO	09/04/2012	83	24	E	INTERCOSTAL	3	07/11/2014	
36	M	25/01/2011	PARCIAL	C5-7	MOTO	06/08/2012	19	29	D	ULNAR	3	06/10/2014	
37	M	16/05/2009	TOTAL		MOTO	08/08/2012	39	45	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	2		
38	F	10/02/2009	TOTAL		MOTO	07/11/2012	46	22	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	2		
39	M	16/05/2011	TOTAL		MOTO	07/11/2012	18	21	D	INTERCOSTAL	0		
40	M	14/10/2010	PARCIAL	C5-7	CARRO	19/12/2012	27	26	E	MEDIANO	4	24/05/2013	
41	M	11/10/2008	TOTAL		MOTO	18/02/2013	53	23	D	INTERCOSTAL	4	22/04/2014	
42	M	01/07/2005	PARCIAL	C5-6	ATROPELAMENTO	20/02/2013	93	49	D	ULNAR	4	25/03/2014	
43	M	07/04/2012	TOTAL		MOTO	18/03/2013	12	25	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	12/05/2014	
44	M	17/06/2011	TOTAL		MOTO	03/04/2013	22	48	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	PR		
45	M	14/11/2011	PARCIAL	C5-6	MOTO	27/05/2013	19	27	E	MEDIANO	3	14/02/2014	
46	M	30/06/2005	PARCIAL	C5-7	MOTO	10/06/2013	97	32	E	MEDIANO	1		
47	M	04/02/2009	PARCIAL	C5-7	MOTO	22/07/2013	54	45	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	4	20/05/2014	
48	M	03/02/2008	PARCIAL	C5-7	MOTO	21/08/2013	68	45	D	MEDIANO	1		
49	M	15/01/2011	TOTAL		MOTO	19/09/2013	33	26	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	30/10/2014	
50	M	08/06/2011	PARCIAL	C5-6	MOTO	13/11/2013	30	28	E	ULNAR	2		
51	M	21/01/2011	TOTAL		MOTO	17/03/2014	38	19	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	4	08/12/2014	
52	M	21/07/2011	TOTAL		MOTO	31/03/2014	33	41	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	03/11/2015	
53	M	10/05/2013	TOTAL		MOTO	14/04/2014	11	20	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	27/04/2015	
54	M	07/08/2011	TOTAL		MOTO	19/05/2014	34	35	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	27/02/2015	
55	M	11/11/2012	TOTAL		MOTO	13/06/2014	19	57	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	17/03/2016	
56	M	23/10/2012	PARCIAL	C5-6	MOTO	10/07/2014	21	33	D	ULNAR	4	19/02/2015	
57	M	05/07/2012	PARCIAL	C5-7	CARRO	07/08/2014	25	34	E	MEDIANO	2		
58	M	11/12/2011	PARCIAL	C5-7	MOTO	11/08/2014	32	30	E	MEDIANO	2		
59	M	05/10/2011	PARCIAL	C5-7	MOTO	17/08/2014	35	25	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	2		
60	M	18/06/2011	PARCIAL	C5-6	MOTO	24/08/2014	39	27	E	ULNAR	2		
61	M	09/05/2009	PARCIAL	C5-7	MOTO	22/09/2014	65	24	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	02/06/2015	
62	M	08/10/2013	PARCIAL	C5-7	MOTO	16/10/2014	12	47	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	04/05/2016	
63	M	12/03/2012	PARCIAL	C5-7	MOTO	27/04/2015	38	23	E	MEDIANO	2		
64	M	04/07/2005	TOTAL		MOTO	11/05/2015	120	25	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	04/10/2016	
65	M	30/01/2010	TOTAL		MOTO	22/05/2015	65	28	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	28/01/2017	
66	M	23/04/2010	PARCIAL	C5-7	MOTO	08/06/2015	62	34	E	MEDIANO	2		
67	M	15/12/2013	PARCIAL	C5-7	ARMA BRANCA	30/06/2015	19	26	D	INTERCOSTAL	3	24/01/2017	
68	M	09/02/2012	TOTAL		MOTO	05/11/2015	46	25	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	10/10/2016	
69	M	25/06/2014	TOTAL		MOTO	16/11/2015	17	29	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	21/09/2016	

M: Sexo masculino. F: Sexo Feminino. D: Lado direito. E: Lado esquerdo. PR: Perda do retalho muscular livre transferido.

continua

conclusão

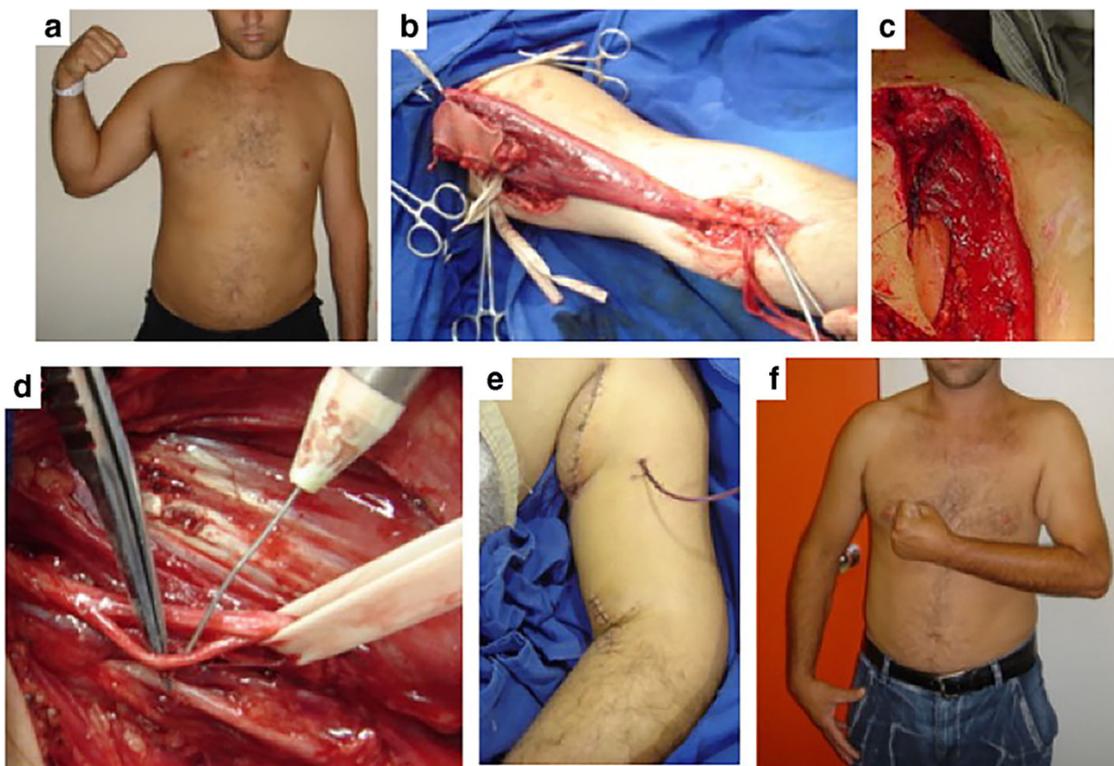
**Tabela 2 -** Dados gerais dos pacientes submetidos à transferência muscular livre do músculo grácil para flexão do cotovelo.

#	Sexo	Data da Lesão	Tipo Lesão	Nível	Causa da Lesão	Data da Cirurgia	ΔT cir. (meses)	Idade na cirurgia	Lado	Nervo	Força (BMRC)	Notado M3	Enxerto
70	M	01/05/2014	TOTAL		MOTO	04/04/2016	23	30	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	1		
71	M	01/04/2014	TOTAL		MOTO	18/07/2016	28	26	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	13/11/2017	
72	M	13/05/2012	TOTAL		MOTO	17/08/2016	52	23	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	4	18/04/2017	
73	F	28/12/2015	PARCIAL	C5-7	MOTO	11/09/2016	9	38	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	17/10/2017	
74	M	10/09/2014	TOTAL		MOTO	11/10/2016	25	40	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	22/06/2017	
75	M	02/08/2015	TOTAL		MOTO	07/11/2016	15	23	E	FRENICO	3	29/09/2017	
76	M	07/04/2014	PARCIAL	C5-6	MOTO	23/11/2016	32	39	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	1		
77	M	15/01/2016	PARCIAL	C5-7	MOTO	29/11/2016	11	33	D	INTERCOSTAL	3	21/11/2017	
78	M	01/03/2013	TOTAL		MOTO	20/12/2016	46	37	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	16/04/2018	
79	M	01/08/2015	TOTAL		MOTO	21/12/2016	17	36	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	2		
80	F	07/07/2014	PARCIAL	C5-7	MOTO	13/03/2017	33	35	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	2		
81	M	06/04/2015	TOTAL		MOTO	14/03/2017	24	24	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	1		
82	F	13/12/2003	TOTAL		ATROPELAMENTO	27/03/2017	162	48	D	FRENICO	1		
83	M	09/03/2009	TOTAL		MOTO	24/04/2017	99	40	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	0		
84	M	09/03/2016	TOTAL		MOTO	29/06/2017	16	43	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	12/06/2018	
85	M	13/01/2016	TOTAL		MOTO	15/07/2017	18	32	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	04/12/2018	
86	M	01/05/2016	TOTAL		MOTO	13/11/2017	19	23	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	17/12/2019	
87	F	01/09/2015	PARCIAL	C5-7	MOTO	06/12/2017	28	25	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	03/12/2019	
88	F	07/07/2014	PARCIAL	C5-7	MOTO	19/03/2018	45	34	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	04/06/2019	
89	M	04/06/2015	TOTAL		MOTO	11/07/2018	38	23	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	1		
90	F	13/12/2013	TOTAL		ATROPELAMENTO	16/07/2018	56	47	D	FRENICO	1		
91	M	03/09/2009	TOTAL		MOTO	20/08/2018	109	30	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	0		
92	M	01/01/2012	TOTAL		MOTO	03/09/2018	81	27	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	PR		
93	M	28/10/2016	TOTAL		MOTO	19/09/2018	23	44	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	16/07/2019	
94	M	01/11/2013	TOTAL		MOTO	24/09/2018	60	32	E	MEDIANO	4	03/03/2020	
95	M	13/03/2016	TOTAL		MOTO	10/10/2018	31	41	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	14/10/2019	
96	M	01/07/2014	TOTAL		MOTO	21/11/2018	53	23	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	01/07/2019	
97	F	01/07/2013	TOTAL		ATROPELAMENTO	30/01/2019	63	22	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	03/12/2019	
98	M	08/05/2015	BILATERAL		MOTO	13/03/2019	47	31	D	FRENICO	PR		
99	M	01/09/2018	PARCIAL	C5-7	MOTO	24/04/2019	8	43	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	4	24/05/2021	
100	M	01/05/2016	TOTAL		MOTO	02/06/2019	38	23	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	16/09/2020	
101	M	22/07/2017	PARCIAL	C5-6	MOTO	08/07/2019	24	29	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	4	19/10/2020	
102	M	27/01/2019	TOTAL		MOTO	10/09/2019	8	22	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	2		
103	M	01/01/2014	TOTAL		MOTO	16/09/2019	69	43	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	0		
104	M	22/06/2018	PARCIAL	C5-7	MOTO	30/10/2019	17	37	D	MEDIANO	3	02/11/2021	
105	M	08/06/2019	TOTAL		MOTO	19/02/2020	9	23	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	4	15/03/2021	
106	M	28/06/2019	TOTAL		MOTO	02/09/2020	14	21	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	4	28/09/2021	
107	M	27/04/2019	TOTAL		MOTO	21/10/2020	18	35	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	1		
108	M	01/02/2018	TOTAL		MOTO	16/11/2020	34	21	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	4	03/08/2021	
109	M	30/10/2016	TOTAL		MOTO	02/12/2020	50	34	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	1		
110	F	11/11/2017	TOTAL		CARRO	20/01/2021	39	36	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	0		
111	M	24/03/2019	TOTAL		MOTO	27/01/2021	23	36	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	1		
112	M	23/06/2020	TOTAL		MOTO	04/08/2021	14	27	D	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	01/11/2022	
113	M	11/11/2020	TOTAL		MOTO	30/03/2022	17	22	E	ESPINHAL ACESSÓRIO	3	12/06/2023	

M: Sexo masculino. F: Sexo Feminino. D: Lado direito. E: Lado esquerdo. PR: Perda do retalho muscular livre transferido.

A força muscular obtida após um período mínimo de 12 meses após a transferência muscular livre do músculo grácil para flexão de cotovelo foi graduada em cinco graus (de 0 a V)<sup>37</sup>. Os pacientes apresentaram grau 0 em 9,2% (10/109) dos casos em que o retalho resultou viável, grau I em 12,8% (14/109) casos, grau II em 14,7% (16/109), grau III em 36,7% (40) e grau IV em 26,6% (29/109) casos (Figura 32).

O intervalo médio entre a cirurgia e o primeiro momento em que o paciente atingiu força de flexão de cotovelo grau III foi de 15,1+9,1 meses (média mais desvio padrão).

**Figura 32 -** Caso clínico

Fonte: Grupo de Mão e Microcirurgia do IOT HC/FMUSP.

Legenda: (a) Paciente com lesão do plexo braquial à esquerda e déficit de flexão ativa do cotovelo. (b) Músculo grácil posicionado sobre o braço esquerdo (área receptora) antes da finalização da transferência. (c) Fixação proximal. (d) Fascículo do nervo ulnar dissecado para transferência. (e) A pele que recobre o músculo grácil é utilizada proximalmente como monitor, ferida operatória suturada distalmente. (f) Restauração de flexão de cotovelo após 18 meses.

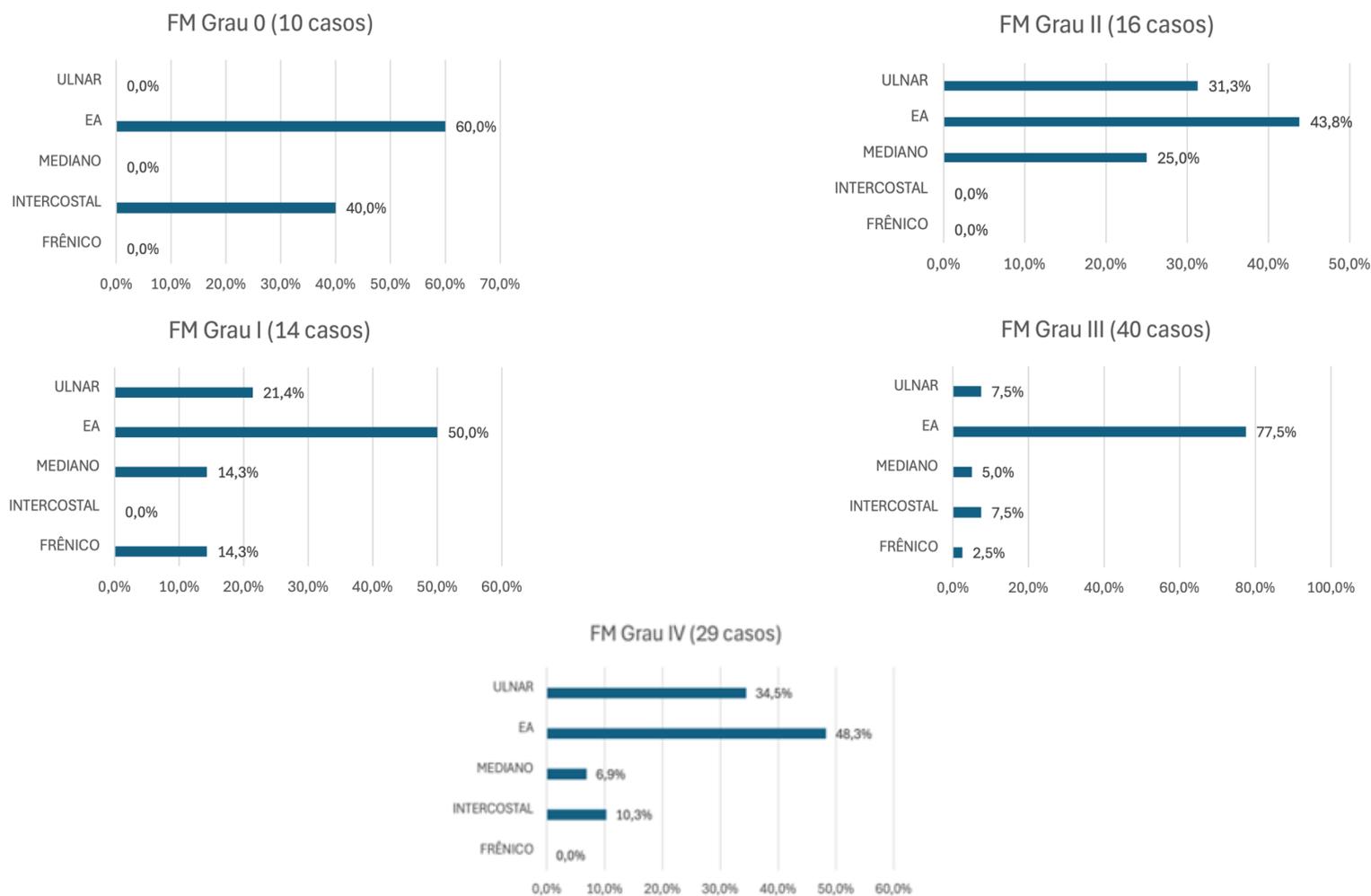
A força muscular obtida por nervo foi a seguinte: pacientes que utilizaram o nervo frênico apresentaram força muscular útil ( $\geq$  M3) em 33,3% dos casos; os que utilizaram intercostal obtiveram 60%; fascículo do nervo mediano logrou força útil em 40%; fascículo do nervo ulnar 61,9% e nervo espinhal acessório alcançou 69,2% de casos com flexão do cotovelo  $\geq$  M3. Devido à heterogeneidade da amostra e ao pequeno número de casos nos grupos FRE, IC e MEDIANO, foi possível comparar somente os grupos EA e ULNAR de forma mais específica ao agregado dos outros grupos.

Os resultados das diferentes transferências de nervos doadoras para o retalho muscular funcional estão sintetizados nas Tabela 3, Tabela 4 e Gráficos 1 a 3:

**Tabela 3 -** Resultados das transferências livres do músculo grácil, divididos por grau obtido de força muscular, segundo o BMRC

FM	Força Muscular (BMRC) por Nervo Doador										Total	n
	FRÊNICO	n	INTERCOSTAL	n	MEDIANO	n	EA	n	ULNAR	n		
0	0,0%	0	40,0%	4	0,0%	0	60,0%	6	0,0%	0	9,2%	10
I	14,3%	2	0,0%	0	14,3%	2	50,0%	7	21,4%	3	12,8%	14
II	0,0%	0	0,0%	0	25,0%	4	43,8%	7	31,3%	5	14,7%	16
III	2,5%	1	7,5%	3	5,0%	2	77,5%	31	7,5%	3	36,7%	40
IV	0,0%	0	10,3%	3	6,9%	2	48,3%	14	34,5%	10	26,6%	29
<b>Total</b>	<b>2,7%</b>	<b>3</b>	<b>9,2%</b>	<b>10</b>	<b>9,2%</b>	<b>10</b>	<b>59,6%</b>	<b>65</b>	<b>19,3%</b>	<b>21</b>	<b>100,0%</b>	<b>109</b>

**Gráfico 1 -** Distribuição do número de casos (em %) de cada transferência de nervo que resultou em força muscular grau 0, I, II, III e IV

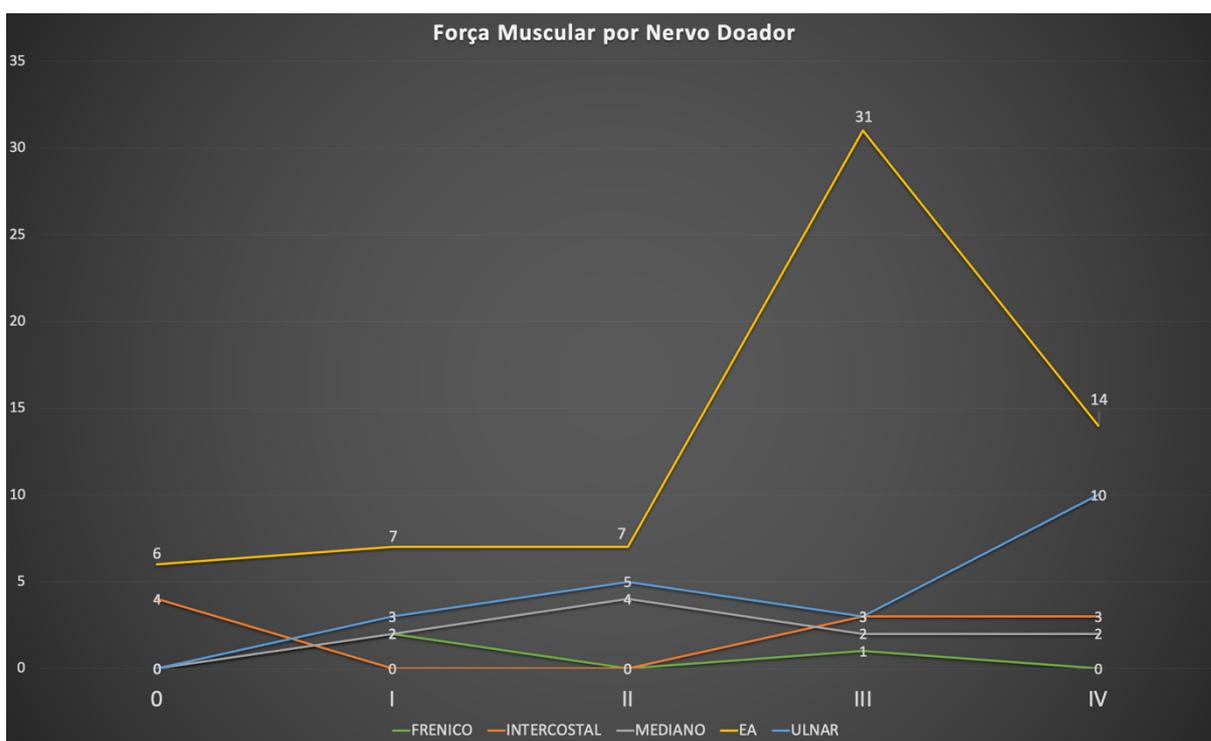


Fonte: Produção do autor.

**Tabela 4** - Resultados das transferências livres do músculo grácil, divididos por nervo doador e agrupados em força muscular grau 0 a II e III a V (força muscular útil)

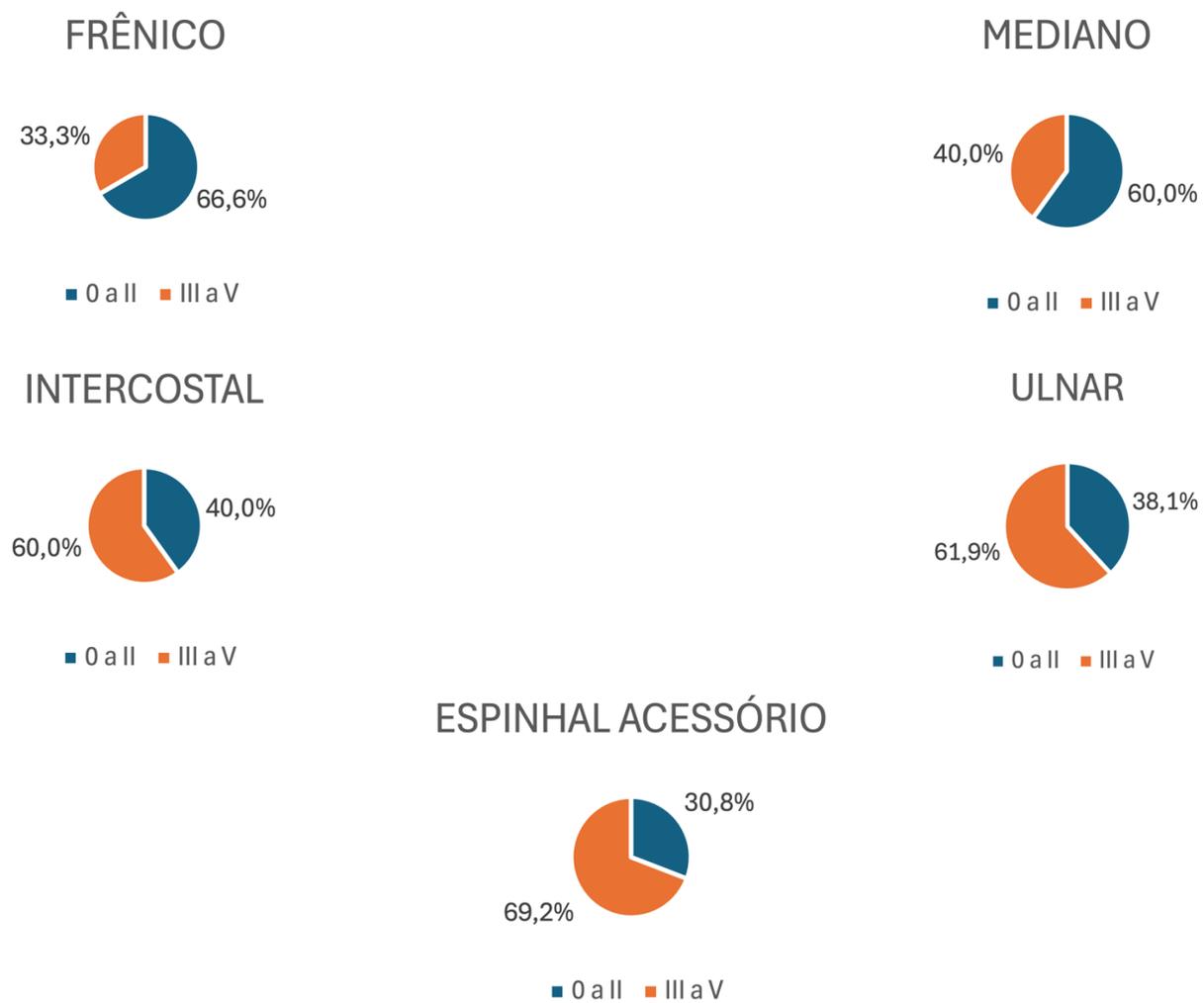
Força Muscular (BMRC) por Nervo Doador						
Nervo	0 a II	n	III a V	n	% Total	n Total
FRÊNICO	66,6%	2	33,3%	1	2,75%	3
INTERCOSTAL	40,0%	4	60,0%	6	9,17%	10
MEDIANO	60,0%	6	40,0%	4	9,17%	10
ULNAR	38,1%	8	61,9%	13	19,27%	21
ESPINHAL ACESSÓRIO	30,8%	20	69,2%	45	59,63%	65
Total	36,7%	40	63,3%	69	100,0 %	109

**Gráfico 2** - Distribuição da força muscular obtida por nervo doador selecionado



Fonte: Produção do autor.

**Gráfico 3 -** Porcentagem de cada transferência de nervo que resultou em força muscular graus 0 a II ou III a V (força muscular útil, em laranja)



Fonte: Produção do autor.

### 5.1.1.1 Comparação entre os nervos doadores

O maior número de casos nos grupos ULNAR e EA permitiu a comparação entre estes grupos e a somatórias dos outros grupos. Quando utilizado o nervo ulnar, 38,1% dos pacientes obtiveram força muscular graus 0 a II e 61,9% força muscular útil (grau III ou IV). Já as transferências musculares que tiveram o nervo espinhal acessório como doador atingiram força muscular grau 0 a II em 30,8% dos casos e força III ou IV em 69,2% dos casos, conforme evidenciado na Tabela 5 e Tabela 6:

**Tabela 5** - Comparação entre a força muscular obtida pelas transferências musculares livres utilizando fascículo do nervo ulnar *versus* outros nervos

Nervo Ulnar vs Outros Nervos						
FM	Outros	n	ULNAR	n	%	n
0 a II	37,10%	32	38,10%	8	36,70%	40
III a V	62,90%	56	61,90%	13	63,30%	69
Total	100,00%	88	100,00%	21	100,0%	109

p=0,93

**Tabela 6** - Comparação entre a força muscular obtida pelas transferências musculares livres utilizando nervo espinhal acessório *versus* outros nervos

Nervo Espinhal Acessório vs Outros Nervos						
FM	Outros	n	EA	n	%	n
0 a II	46,7%	20	30,8%	20	36,7%	40
III a V	53,3%	24	69,2%	45	63,3%	69
Total	100,0%	45	100,0%	65	100,0%	109

p=0,09

### 5.1.1.2 Mecanismos de trauma

No que se refere aos mecanismos de trauma, 6,2% (7) ocorreram por atropelamento; 2,6% (3) por acidente automobilístico; 0,9% (1) por ferimento por arma branca; 86,7% (98) por acidente motociclístico; 0,9% (1) por agressão e 1,8% (2) por acidente de bicicleta.

### 5.1.1.3 Complicações

As complicações dos retalhos viáveis foram as seguintes: quatro re-explorações – três por perda do monitor com o retalho viável e uma compressão do pedículo por hematoma – e cinco infecções profundas (duas do sítio receptor e três do sítio doador), totalizando 8,2% (9/109).

### 5.1.1.4 Cirurgias secundárias

As cirurgias secundárias foram: dez transferências proximais da musculatura flexo-pronadora (cirurgia de Steindler) – sete casos que, a partir de M2, chegaram a M4; dois casos que de M3 atingiram M4 e um caso que, a partir de M1, realizou transferência de tríceps para bíceps e, após Steindler, obteve resultado M4. Um paciente foi submetido a retensionamento distal da inserção tendinosa do músculo grácil no tendão do m. bíceps, sem ganho de função.

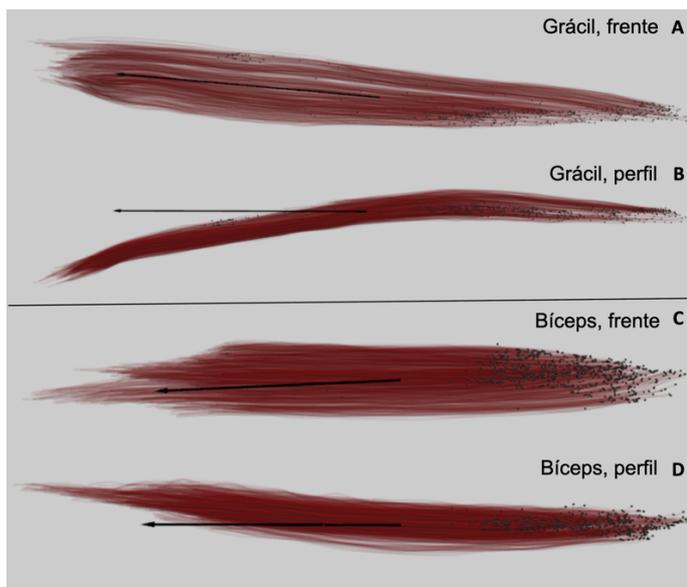
Dezoito pacientes que receberam a transferência muscular funcional livre haviam sido previamente submetidos à exploração e reconstrução prévias do plexo braquial sem sucesso (sete reconstruções com enxerto e onze transferências de nervos).

## 5.2 ESTUDO ANATÔMICO

### 5.2.1 Resultados do estudo anatômico

O processo de dissecação, digitalização e reconstrução tridimensional de três músculos grácil e três músculos bíceps permitiu analisar sua morfologia e seus parâmetros arquiteturais. Os músculos grácil mediram, em média, 578 mm, desde sua origem aponeurótica até a inserção de seu tendão distal. Já os músculos bíceps apresentaram comprimento médio de 337 mm, da origem do tendão da cabeça longa do bíceps até sua inserção tendinosa na tuberosidade do rádio.

Os músculos grácil e bíceps braquial apresentaram feixes de fibras com arranjo quase paralelo, com ângulo de penação médio de 4,46° e 4,94°, respectivamente. A linha de ação obtida para ambos os músculos está apresentada na Figura 33.

**Figura 33 -** Linha de ação obtida para ambos os músculos

Fonte: Produção do autor.

Legenda: A: Feixes de fibras musculares digitalizados do m. grácil, vista de frente. B: Vista de perfil. C: Feixes de fibras digitalizados do m. bíceps braquial, vista de frente. D: Vista de perfil. Seta preta: Linha de ação dos músculos, calculada a partir da somatória dos ângulos dos feixes de fibras musculares.

### 5.2.2 Comparação entre os músculos

O comprimento médio dos feixes de fibras do músculo grácil mediu  $255 \pm 65$  mm (média  $\pm$  DP), em comparação com  $150 \pm 20$  (média  $\pm$  DP) mm das cabeças do bíceps braquial.

A área de secção transversal fisiológica dos músculos grácil estudados mediu  $444 \text{ mm}^2$  enquanto a dos músculos bíceps foi de  $403 \text{ mm}^2$ .

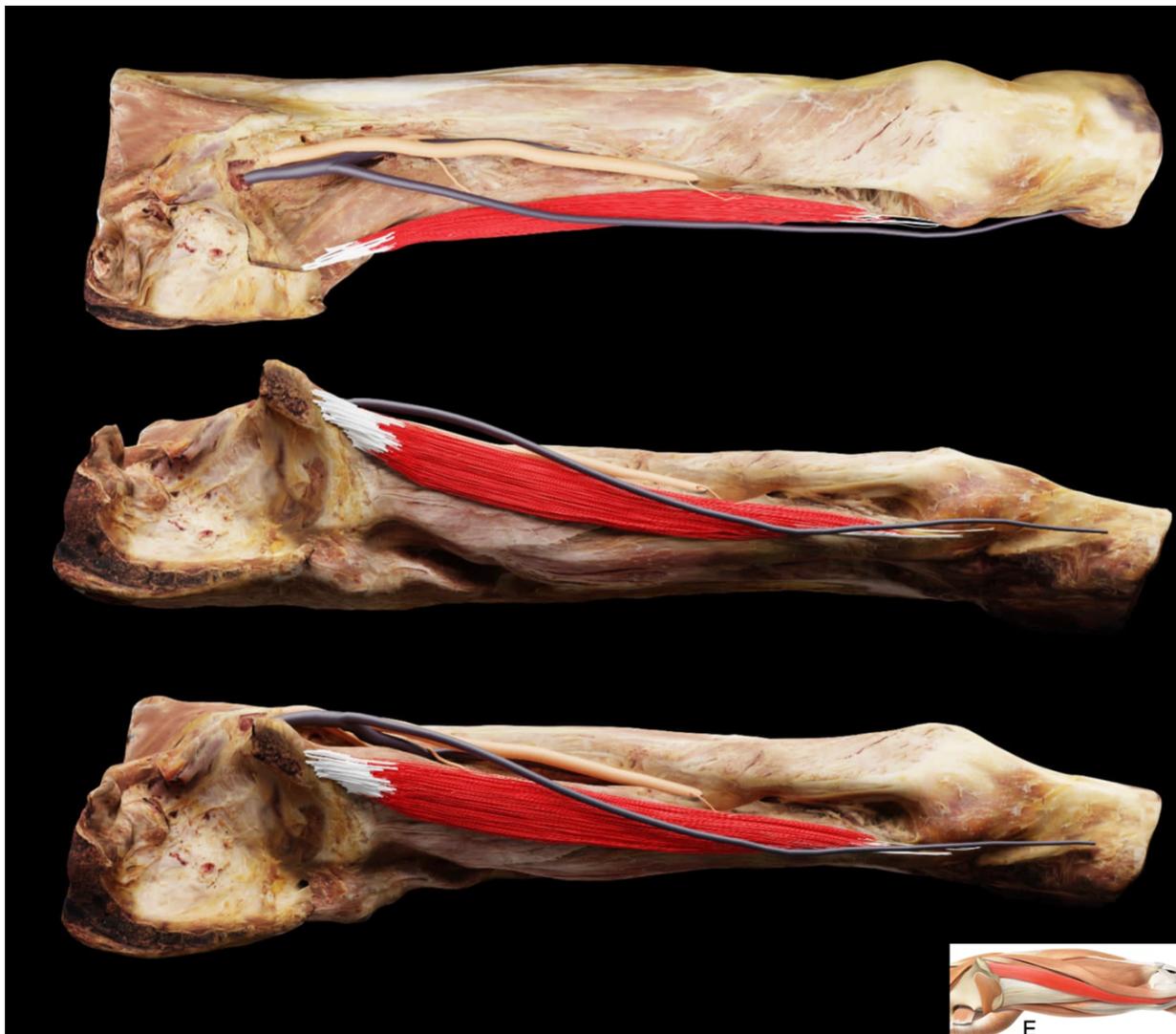
A síntese dos resultados obtidos está resumida na Tabela 7.

**Tabela 7 -** Comparação entre os parâmetros anatômicos dos músculos grácil e bíceps braquial

	Grácil	Bíceps
Comprimento Total dos Músculos (incl tendões) em mm	577,6	336,7
Comprimento do tendão distal em mm	271,4	111,9
Comprimento médio dos feixes de fibras em mm (DP)	255,33 (64,54)	150,55 (20,00)
Ângulo de penação médio (DP)	$4,46^\circ$ (2,73)	$4,94^\circ$ (2,56)
Área de Secção Transversa Fisiológica em $\text{mm}^2$	443,9	402,52

As Figuras 34 e 35 exemplificam imagens obtidas dos modelos tridimensionais de alta fidelidade resultantes do processo de dissecação, digitalização e reconstrução tridimensional volumétrica dos espécimes estudados.

**Figura 34 -** Modelo tridimensional do músculo grácil esquerdo e estruturas vizinhas



Fonte: Produção do autor.

Legenda: Imagens do modelo tridimensional obtido após dissecação e digitalização do músculo grácil esquerdo bem como das estruturas anatômicas vizinhas (veia safena magna, artéria femoral profunda, veia femoral profunda, artérias dos pedículos vasculares principal e secundário).

**Figura 35 -** Modelos tridimensionais dos músculos grácil e bíceps braquial

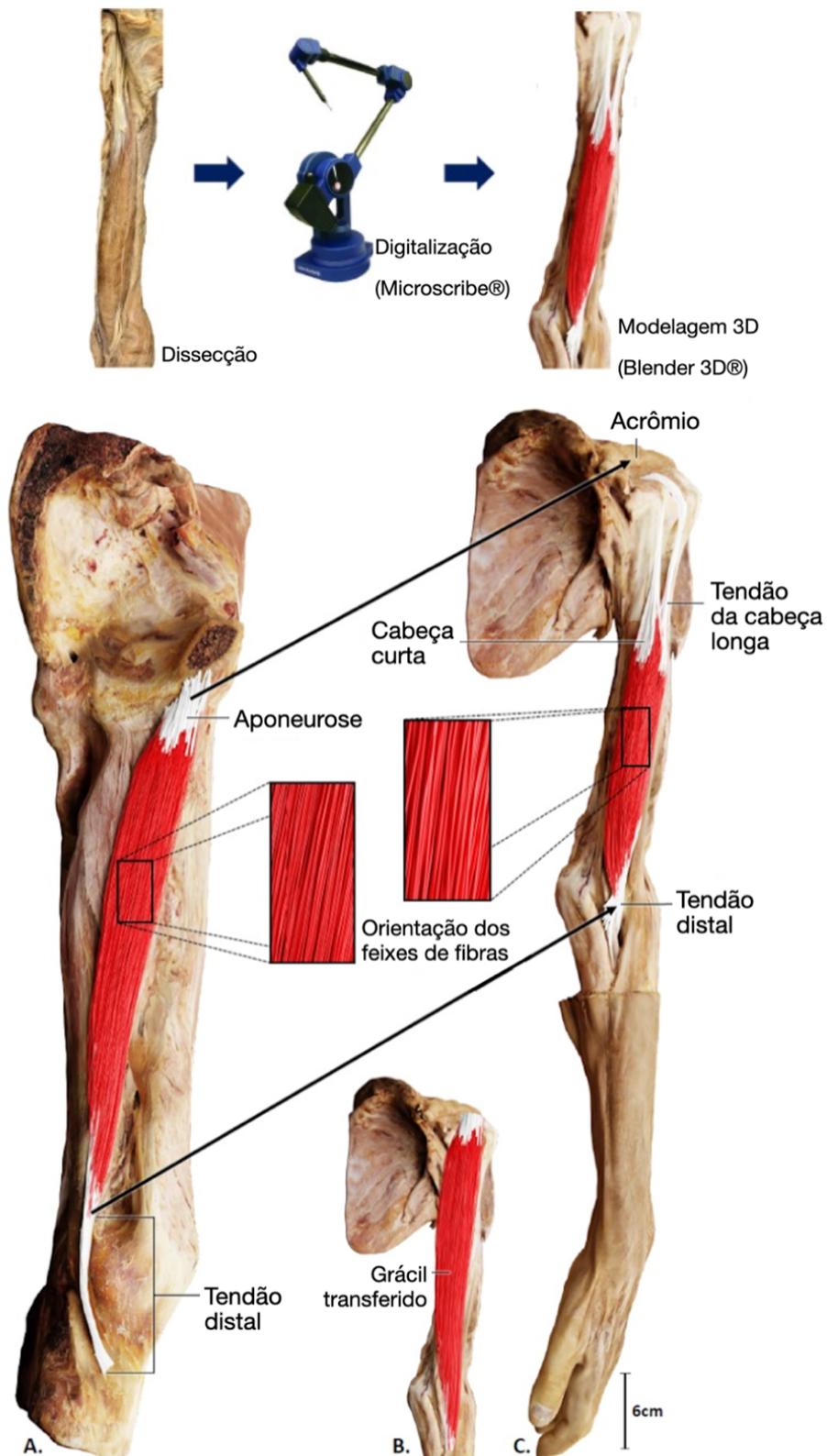


Fonte: Produção do autor.

Legenda: Acima: imagem do modelo tridimensional obtido após dissecação e digitalização do músculo bíceps braquial esquerdo. Abaixo: imagem após dissecação e digitalização do músculo grácil esquerdo.

A Figura 36 resume o processo idealizado para permitir o estudo fidedigno dos músculos grácil e bíceps bem como de outras estruturas anatômicas relevantes (nervos, vasos etc.), e compará-los.

**Figura 36 -** Comparação entre os modelos tridimensionais dos músculos grácil e bíceps



Fonte: Produção do autor.

Legenda: A: Membro inferior esquerdo com o músculo grácil digitalizado. B: Representação da transferência muscular do m. grácil para o tendão do bíceps esquerdo. C: Membro superior esquerdo com o músculo bíceps digitalizado.

## **6 DISCUSSÃO**

---

## 6 DISCUSSÃO

### 6.1 SÉRIE DE CASOS RETROSPECTIVA DE TRANSFERÊNCIAS MUSCULARES LIVRES DO MÚSCULO GRÁCIL PARA FLEXÃO DO COTOVELO

O presente estudo reforça o entendimento atual de que a lesão traumática do plexo braquial acomete, predominantemente, homens jovens, em sua maioria vítimas de acidentes motociclísticos. Dos pacientes analisados, 94,2% eram do sexo masculino, com idade média de 30 anos. Flores<sup>32</sup>, Rocha et al.<sup>31</sup> e Cho et al.<sup>36</sup> avaliaram a população de pacientes com lesão do plexo braquial em diferentes estados brasileiros e concluíram que esta patologia acomete majoritariamente jovens do sexo masculino. A lesão do plexo braquial exerce um grande impacto na vida destas vítimas, devido ao longo tempo de tratamento necessário e ao déficit funcional permanente que impõe. Acreditamos que estas características demográficas e da história natural da lesão justifiquem todos os esforços no sentido de restabelecer, ainda que parcialmente, a funcionalidade do membro afetado.

Ressaltamos que a transferência funcional livre do músculo grácil para o bíceps é alternativa interessante para a obtenção de flexão útil do cotovelo nas lesões traumáticas do plexo braquial que se apresentam tardiamente para cirurgia. No Brasil é comum, infelizmente, que muitos pacientes vítimas de lesão do plexo recebam diagnósticos extemporâneos ou encaminhamentos morosos que resultam em meses de atraso para início do tratamento, quando já houve atrofia irreversível da junção neuromuscular. O transplante do m. grácil representa opção terapêutica interessante para estes pacientes: apesar de tratar-se de procedimento de grande porte e que exige elevado investimento humano e em estrutura hospitalar, por definição há a transferência de novas unidades neuromusculares para o membro superior, dependentes da restituição da circulação sanguínea e inervação do tecido transplantado<sup>26</sup>. A proficiência em microcirurgia necessária para o bom resultado do procedimento é fator limitante para sua execução em mais centros em nosso país, contribuindo para a verdadeira epidemia representada pela grande quantidade de pacientes que têm como única alternativa a transferência livre do m. grácil, cirurgia esta cujo resultado independe do tempo entre a lesão e o tratamento. Este intervalo médio em nossa série foi de 38,7 meses, período prolongado que evidencia a necessidade de mais investimento nesta área em nosso meio.

A complexidade inerente à transferência muscular funcional livre, conforme comentado, se traduz em um custo elevado para reabilitar o paciente vítima de lesão grave do plexo braquial tratado tardiamente. Fica clara, portanto, a importância de programas de prevenção, conscientização e diagnóstico precoce das lesões traumáticas do plexo, além da necessidade de encaminhamento célere para centros especializados. A maioria dos pacientes operados na presente série foi vítima de acidente motociclístico (86,7%; 98/113), explicitando o quão problemático é o trânsito de motocicletas e automóveis nas grandes cidades do Brasil. Contexto semelhante vive o Sudeste Asiático (Índia, por exemplo), localidade que assim como nosso país, apresenta grande número de lesões traumáticas do plexo braquial nas últimas décadas<sup>30</sup>.

A transferência muscular livre para ganho de flexão do cotovelo foi descrita, pela primeira vez, por Ikuta et al.<sup>26</sup>, e esse relato inicial foi seguido por inúmeras publicações que divergiam quanto à seleção das diferentes fontes de nervo doador<sup>5,48,54</sup>. Chuang et al.<sup>50</sup> relataram os resultados da transferência do músculo grácil para flexão do cotovelo utilizando o nervo intercostal como nervo doador, registrando 78% de pacientes com força de flexão M4 ou superior. No presente estudo, o percentual de retorno após a transferência de nervos intercostais foi um pouco inferior ao encontrado na literatura, com dez casos operados e resultado M3 ou superior em seis pacientes (60%).

Barrie et al.<sup>7</sup> estudaram 26 pacientes submetidos à transferência livre do músculo grácil, utilizando o nervo espinal acessório ou nervos intercostais como doadores. Os resultados indicaram retorno funcional de, pelo menos, M4 em 63% dos casos. Kay et al.<sup>53</sup> relataram uma série de 33 casos de transferência funcional do músculo grácil, sendo a maioria inervada pelos nervos intercostais (15 casos) ou pelo nervo ulnar (12 casos), com índice global de bons resultados ( $\geq$  M3) de 70%; ao analisar somente os adultos, o índice chegou a 53%. Comparativamente, o grupo que utilizou os nervos intercostais apresentou uma tendência a melhores resultados em termos de retorno da força de flexão. Em nossa casuística, os bons resultados globais foram de 63,3%, e a transferência do nervo ulnar apresentou uma taxa de retorno de força muscular semelhante à do grupo que utilizou os nervos intercostais (61,9% ULN vs. 60% IC).

Sungpet et al.<sup>52</sup> avaliaram o resultado da transferência livre do músculo grácil para flexão do cotovelo em três pacientes com lesão alta do plexo braquial (C5/C6), utilizando um fascículo do nervo ulnar como fonte de transferência de nervo. Após 33 meses de acompanhamento, observou-se uma força muscular de flexão do cotovelo de 4,3 kg, em média. Os autores não relataram qualquer perda de força de preensão da mão ou flexão do punho, nem alteração da sensibilidade. As vantagens do uso do nervo ulnar como nervo doador foram

destacadas, incluindo a facilidade de execução, a dispensa do uso de enxerto nervoso e a possibilidade de controle voluntário da flexão do cotovelo. A casuística em questão apresentou resultados semelhantes, com a transferência de fascículo do nervo ulnar mostrando-se um procedimento confiável, culminando em resultados satisfatórios e sem déficit sensitivo-motor do nervo doador na amostra analisada.

Fator importante para a tomada de decisão de qual nervo adotar como doador para o transplante do m. grácil é a morbidade que a transferência do nervo escolhido acarreta, uma vez que a utilização de um nervo motor doador para outra função sempre vai resultar em denervação de fibras musculares da região originalmente inervada por ele. Conforme comentário sobre a transferência de fascículo do nervo ulnar, também o emprego de fascículos do nervo mediano e dos nervos intercostais como doadores não resultou em qualquer déficit sensitivo-motor apreciável nas áreas doadoras. Na série utilizamos quatro nervos frênicos para transferência muscular funcional livre do m. grácil (três com sucesso, uma falha), também sem seqüela funcional relevante. Nestes pacientes sugere-se no período pré-operatório a realização de radiografias pósterio-anteriores em inspiração máxima e expiração máximas para avaliação do diafragma e parênquima pulmonar, além de espirometria se possível. Digno de nota é também o risco aumentado de seqüelas respiratórias em fumantes e obesos<sup>49</sup>.

Ainda sobre a utilização do nervo frênico como doador, é relevante a preocupação com a autonomização da função de flexão do cotovelo desejada. Assim como inicialmente percebemos nos pacientes que receberam nervos intercostais como doadores, a flexão do cotovelo é dependente do estímulo respiratório, pelo menos nas fases iniciais de reinervação do m. grácil transplantado. É necessária reabilitação especializada e diligente para obtenção de contração voluntária do m. grácil, com conseqüente função de flexão útil do cotovelo. Infelizmente há pacientes que nunca atingem a completa dissociação do movimento do cotovelo do estímulo respiratório automático, culminando com função pobre do membro superior<sup>50</sup>.

É digno de nota que o resultado animador da transferência do nervo espinhal acessório em especial, logrando força muscular útil em 69,2% dos procedimentos em nossa série, estimulou uma mudança no protocolo de tratamento das lesões traumáticas agudas do plexo braquial em nosso serviço. Criticamente observamos que a clássica transferência do nervo espinhal acessório para n. supraescapular, enquanto útil para estabilização do ombro, resulta freqüentemente em ganho de rotação lateral insuficiente<sup>41</sup>. Os bons resultados do uso do nervo espinhal acessório nas transferências musculares livres nos estimulou a poupar quando possível este nervo para sua eventual utilização em um transplante do m. grácil caso a reconstrução neurológica falhe, priorizando a transferência de nervos intercostais para bíceps nas lesões

totais, por exemplo, associada a realização de reconstrução com enxerto das raízes viáveis sempre que possível. Caso o paciente obtenha força de flexão de cotovelo adequada com a reconstrução neurológica ou transplante muscular, e apresente ombro instável e/ou doloroso com subluxação gleonoumeral, temos lançado mão da artrodese do ombro com placa e enxerto de ilíaco com bons resultados.

Nenhum dos pacientes da série recebeu transplante duplo do m. grácil, conforme popularizado por Doi et al.<sup>10</sup>. Reconhecemos o excepcional esforço dos autores em procurar reconstruir, em tempo único ou múltiplas cirurgias, tanto a flexão de cotovelo como movimento rudimentar de dedos, utilizando protocolos ambiciosos de reabilitação que incluem internação hospitalar prolongada e *biofeedback*, por exemplo. Em nosso meio optamos por restabelecer a flexão do cotovelo como prioridade, procedimento este que apresenta elevada demanda em nosso serviço. Quando se associa a este fato a oferta limitada de recursos para reabilitação no Sistema Único de Saúde, acabamos por priorizar o transplante para um novo paciente com déficit de flexão do cotovelo ao invés de realizar uma segunda transferência de m. grácil livre para dedos em paciente já operado.

Estudos recentes de Maldonado et al.<sup>9</sup>, Hinchcliff et al.<sup>55</sup> e Persad et al.<sup>56</sup> enfatizam a melhora da força muscular obtida com a inserção mais distal do tendão do músculo grácil livre transplantado. O tendão do m. grácil transferido é suturado aos tendões flexores profundos dos dedos e flexor longo do polegar preferencialmente, por meio de enxerto e após passagem pelo *lacertus fibrosus* atuando como polia. O incremento do torque ao fletir o cotovelo, que pode chegar a até 30%<sup>9</sup>, se traduz em força de flexão maior além de permitir a flexão rudimentar dos dedos, logrando restituir duas funções com uma cirurgia apenas. Tais resultados encorajam a adoção deste protocolo em transplantes futuros, um vez que a quase totalidade dos casos da presente série teve o tendão do bíceps como ponto de ancoragem do grácil transferido. Destacamos que a escolha do nervo doador também influencia nos pontos de origem e inserção do músculo transplantado, já que quando utilizamos os nervos espinhal acessório, fascículo do n. ulnar ou mediano e n. frênico o ponto de ancoragem do músculo é a clavícula lateral e acrômio, usando os vasos toracoacromiais como vasos receptores. No entanto, ao selecionarmos os nervos intercostais o músculo transferido é fixado à segunda e terceira costelas, lançando mão dos vasos toracodorsais como receptores. O posicionamento mais medial e distal no segundo cenário favorece a sutura sem enxerto do tendão do m. grácil aos flexores dos dedos.

Para a avaliação da força muscular de flexão do cotovelo, utilizou-se a escala do British Medical Research Council (BMRC)<sup>37</sup>. Segundo Bengtson et al.<sup>39</sup>, esta escala é empregada em cerca de três quartos das publicações sobre avaliação do plexo braquial, sendo um método simples e bem estabelecido. Bhardwaj et al.<sup>40</sup> compartilham dessa opinião, afirmando que esta escala é a mais utilizada para avaliação do retorno da flexão do cotovelo, embora ressaltem a necessidade de atenção à potencial variação na interpretação interobservadores na graduação da força pela escala BMRC.

O autor do presente estudo considera que pacientes submetidos a retalho funcional livre dificilmente alcançam força muscular normal. Portanto, os sujeitos da pesquisa foram classificados de M0 a M4, sendo considerados bons resultados aqueles classificados como M3 ou superiores.

Embora não tenha havido diferença estatística significativa no ganho de flexão do cotovelo entre os nervos doadores estudados, o grupo que recebeu o nervo espinal acessório (EA) apresentou uma tendência a desempenho superior em comparação à transferência do nervo ulnar (EA 69,2% vs. ULN 61,9% obtiveram força  $\geq$  M3 de flexão do cotovelo). Essa superioridade do nervo espinal acessório em relação à transferência do nervo ulnar é interessante, uma vez que se esperava o contrário, com base nos excelentes resultados publicados da transferência de fascículo do nervo ulnar para o músculo bíceps (procedimento de Oberlin<sup>3</sup>). Portanto, recomenda-se o uso do nervo EA para transferências musculares em casos de lesões completas do plexo braquial em adultos. Em lesões parciais do plexo braquial, o nervo espinal acessório, fascículos do nervo ulnar ou nervo mediano<sup>9</sup> podem ser utilizados, mas os resultados sugerem que o EA ainda é a melhor opção.

Estudos clássicos de Sunderland et al.<sup>16</sup>, posteriormente revisitados por Colbert e Mackinnon<sup>4</sup>, descrevem a contagem de axônios motores presentes em nervos doadores disponíveis no membro superior, concluindo que o nervo espinal acessório contém entre 1000 e 1500 axônios motores disponíveis para transferência, o nervo frênico 800 a 2000 axônios motores, dependendo da lateralidade e do nível selecionado e os nervos intercostais possuem entre 200 e 400 axônios motores cada, variando também conforme a topografia estudada. Cada fascículo motor do nervo ulnar pode conter entre 100 e 500 axônios motores, enquanto fascículos do nervo mediano contém entre 100 e 600 axônios motores. Já o ramo do nervo obturatório para o músculo grácil tem cerca de 800 axônios motores<sup>9</sup>, sendo que uma razão considerada adequada entre o número de axônios motores doadores e receptores para o bom resultado de uma transferência muscular funcional livre é de 0,7:1. Temos, portanto, que o nervo espinal acessório (1,5:1), nervo frênico (1,75:1), dois nervos intercostais (0,75:1) e dois

fascículos motores dos nervos ulnar (0,75:1) ou mediano (0,87:1) atingem o limiar ideal, com os nervos espinal acessório e frênico em vantagem. Enfatizamos, porém, que esta contagem é apenas um dos vários fatores que influenciam no resultado clínico, dentre outros que incluem a tensão muscular final alcançada, o tempo de isquemia e a reabilitação, por exemplo. A presente série reforça a utilidade do nervo espinal acessório, porém ressaltamos que foi possível obter força muscular útil com todos os cinco nervos estudados.

O uso de monitor de pele para avaliação da circulação sanguínea ideal no retalho funcional livre do m. grácil é estratégia desejável. Tanto a chegada de sangue pela circulação arterial quanto sua saída do tecido transplantado pelo sistema venoso podem ser avaliadas por meio da inclusão, durante a dissecação do retalho, de ilha de pele pequena medial da coxa suturada superficialmente na área receptora. Por meio deste monitor é possível avaliar o tempo de enchimento capilar, coloração da pele, presença ou não de sangramento do plexo subdérmico, sua coloração, além da presença de petéquias, edema ou mudanças no turgor da pele. Para tanto o tecido muscular e o monitor de pele devem ser irrigados pelo mesmo pedículo vascular, no caso o ramo para o m. grácil oriundo da artéria femoral profunda e veias comitantes. O monitor de pele deve sua circulação à vasos perfurantes cutâneos que atravessam o m. grácil, além de vasos septais que correm na fáscia entre os mm. grácil e adutor longo, sendo o monitor ideal elevado sobre o ventre proximal do m. grácil incluindo a referida fáscia, na topografia do pedículo principal do retalho. Ocorre que, por depender de diminutas perfurantes cutâneas que podem estar ausentes, o monitor de pele pode não resultar confiável. Na presente série três monitores de pele mostrando isquemia ou congestão venosa exigiram reoperação precoce para avaliação da patência da artéria e veias comitantes, que se mostraram pérvias. A grande maioria, no entanto, resultou confiável, auxiliando no acompanhamento pós-operatório dos transplantes, razão pela qual encorajamos seu uso rotineiro.

No que se refere aos procedimentos secundários, todos os pacientes com músculo transferido viável apresentaram melhora, mesmo partindo de uma força M2, especialmente após a cirurgia de Steindler (em casos de lesão parcial do plexo braquial), o que demonstra a importância da transferência do grácil, ainda que sem resultados satisfatórios iniciais.

Uma limitação óbvia deste estudo foi o levantamento retrospectivo das informações; apesar de os dados terem sido coletados a partir de protocolos cirúrgicos rotineiramente utilizados no serviço, eles não foram pré-concebidos com o intuito de analisar a força muscular nesse contexto. Da mesma forma, o número limitado de pacientes operados em alguns grupos (mediano, intercostal e frênico) prejudica a avaliação destes grupos específicos. Durante o levantamento das variáveis em prontuário, surgiram dificuldades inerentes ao registro escrito

de informações. Além disso, o comprometimento individual dos pacientes durante as avaliações e a reabilitação podem interferir nos resultados.

## 6.2 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÚSCULOS GRÁCIL E BÍCEPS RECONSTRUÍDOS TRIDIMENSIONALMENTE

Estudo anatômico complementar à casuística clínica demonstrou a viabilidade da comparação entre os músculos grácil e bíceps braquial por meio de técnica inovadora de modelagem 3D. O processo consistiu na dissecação seriada, digitalização em laboratório dedicado e reconstrução tridimensional em alta definição dos nervos, vasos sanguíneos, fibras musculares, aponeuroses, protuberâncias ósseas e tecidos vizinhos, permitindo comparar em detalhes a arquitetura dos músculos grácil e bíceps, além de sua relação com importantes estruturas anatômicas da vizinhança. Estruturas estas relevantes para o planejamento e resultado das transferências musculares livres, por exemplo.

As funções mecânicas do músculo são caracterizadas por parâmetros arquiteturais como espessura, comprimento das fibras (ou feixes de fibras), ângulo de penação (AP) e área de secção transversal fisiológica<sup>57</sup>. Especificamente, o AP é um determinante importante da contribuição que os fascículos musculares oferecem à força agindo ao longo da linha de ação<sup>61</sup>. O AP é definido como o ângulo entre a orientação de um fascículo e o eixo do tendão do músculo propriamente dito (ou seja, a linha de ação)<sup>57,62</sup>.

No entanto, quando um músculo só é avaliado por imagens 2D, a precisão da medição depende do alinhamento do plano de imagem (posição do transdutor do ultrassom, por exemplo). Como os fascículos formam estruturas complexas e variáveis dentro de um músculo, é desafiador e, por vezes, impossível encontrar o plano de imagem verdadeiro que forneça uma avaliação precisa de toda a arquitetura tridimensional (3D) do músculo<sup>61</sup>, como, por exemplo, em um músculo com organização espiralada das fibras musculares.

Em contraste com as avaliações ultrassonográficas, o uso de espécimes cadavéricos permite a medição direta do AP. Lieber e Fridén (2000)<sup>57</sup> coletaram um pequeno número de fascículos das superfícies dos espécimes e mediram o AP usando um goniômetro ou transferidor manual. Embora suas medidas diretas possam ser, em princípio, mais precisas do que as avaliações ultrassonográficas, qualquer variação interna não foi levada em conta em suas quantificações<sup>57</sup>. Posteriormente, Ravichandiran et al. (2009)<sup>59</sup> e Lee et al. (2015)<sup>61</sup> avaliaram o AP com base no registro volumétrico dos feixes de fibras por meio de dissecação e reconstrução tridimensional.

Estudos em cadáveres, tradicionalmente, examinaram a arquitetura muscular e tendínea utilizando técnicas de medição bidimensionais (2D), como software de análise de imagem e instrumentos manuais (por exemplo, réguas e transferidores). Os avanços tecnológicos aprimoraram significativamente as técnicas modernas para capturar e quantificar volumetricamente a arquitetura músculo-aponeurótica. Nas últimas duas décadas, o laboratório de anatomia da Universidade de Toronto desenvolveu protocolos de digitalização tridimensional (3D) e softwares para detalhar a arquitetura muscular<sup>58-61</sup>. Modelos tridimensionais de alta definição, gerados a partir do estudo de espécimes anatômicos, têm sido utilizados para visualizar a arquitetura muscular em um nível de detalhe anteriormente impossível.

Os parâmetros a seguir padronizam a coleta de dados e facilitam a comparação entre os músculos de interesse:

### 6.2.1 Comprimento do feixe de fibras

O comprimento do feixe de fibras (CFF) é definido como o comprimento total de um feixe de fibras musculares entre dois pontos de fixação do músculo. O CFF está relacionado com a magnitude e a velocidade máxima da excursão muscular<sup>57</sup>. Essa correlação é corroborada por evidências experimentais em animais, que demonstram a relação proporcional entre o CFF (determinado pelo número de sarcômeros em série em uma fibra muscular) e a velocidade de contração muscular, bem como a variação no comprimento muscular entre o repouso e a contração (encurtamento)<sup>59</sup>.

Classicamente a medição do CFF em estudos cadavéricos e de imagem dependia de medições bidimensionais de uma amostra muito pequena de feixes de fibras em relação ao volume total do músculo. Devido às limitações como dimensões e trajetória irregulares das fibras musculares, o CFF raramente é analisado em músculos grandes ou morfológicamente complexos por meio de exames de imagem. Réguas e goniômetros estão entre as ferramentas utilizadas para medir o CFF *in situ* em estudos cadavéricos clássicos; o estudo por meio de exames de imagem requer medições e pós-processamento em computador.

Procurando superar estas limitações e realizar medições mais fidedignas, há mais de 20 anos o laboratório da Professora Anne Agur, em Toronto, desenvolveu método inovador para documentar e analisar a arquitetura de todo o músculo sóleo humano utilizando técnicas de reconstrução tridimensional para mensurar o CFF, entre outros parâmetros<sup>58</sup>.

### 6.2.2 Linha de ação

A linha de ação (LdA) é um vetor tridimensional que representa o eixo principal de geração de força de um músculo<sup>57</sup>. Basicamente a LdA simplifica as forças médias produzidas por um músculo ou ventre muscular para uma única linha. A utilidade deste parâmetro depende, em grande parte, da complexidade arquitetural do músculo em questão, dos pontos de fixação deste e do número de partes funcionalmente distintas do músculo<sup>57</sup>. É importante notar que a LdA serve como referência para outros parâmetros da arquitetura muscular — como o ângulo de penação — e pode, portanto, ser um fator limitante na precisão das demais medidas.

Independentemente de quantas linhas são utilizadas para representar um músculo, existem várias abordagens para estimar a LdA: (1) uma linha reta entre dois pontos de fixação proximal e distal<sup>58</sup>; (2) uma linha conectando seções transversas consecutivas de um músculo<sup>62</sup> e, mais recentemente, (3) uma linha calculada a partir de dados anatômicos tridimensionais, levando em consideração tanto a origem e inserção musculares quanto a arquitetura volumétrica do músculo<sup>61</sup>, caso do estudo anatômico em questão. Apesar da sua natureza indubitavelmente tridimensional, a maioria dos estudos considera a LdA como uma entidade bidimensional, e muitos não especificam como a LdA foi determinada.

### 6.2.3 Ângulo de penação

O ângulo de penação (AP) é o ângulo entre um determinado feixe de fibras (FF) e o vetor que representa a linha de ação do músculo<sup>57</sup>. Ele é um determinante da força potencial que um feixe de fibras pode contribuir na direção da LdA, em que a força é diretamente proporcional ao cosseno do AP. O AP também fornece informações valiosas sobre a excursão muscular<sup>57</sup>. Estudos sobre o sistema musculoesquelético consideram o AP como o ângulo entre um feixe de fibras e sua fixação tendinosa; no entanto, essa definição só se aplica a músculos nos quais a LdA é paralela ao eixo longo do tendão<sup>61</sup>. Músculos multipenados e morfologicamente complexos requerem a estimativa de uma ou mais linhas de ação antes de considerar o AP — uma necessidade, frequentemente, negligenciada. A medição do AP na literatura atual é, tipicamente, realizada de duas maneiras: (1) em estudos cadavéricos, nos quais é possível observar diretamente a orientação do feixe de fibras, a maioria dos pesquisadores utiliza um transferidor ou goniômetro para medir o AP em um único plano, registrando a orientação do feixe de fibras<sup>57</sup>; ou (2) em estudos de imagem, o AP é medido em imagens de ultrassom bidimensionais, mas é suscetível a erro devido ao alinhamento impreciso do

transdutor do ultrassom<sup>59</sup>. Assim como a linha de ação, o ângulo de penetração é um parâmetro fundamentalmente tridimensional que, raramente, é tratado como tal.

Acreditamos que a reconstrução 3D utilizada no presente estudo anatômico é o método mais fidedigno para a definição do AP.

#### 6.2.4 Volume muscular e massa muscular

O volume muscular (VM) é uma medida da quantidade de espaço que um músculo ocupa, geralmente, expressa em milímetros cúbicos (mm<sup>3</sup>) ou centímetros cúbicos (cm<sup>3</sup>)<sup>57</sup>. Estudos cadavéricos mais recentes optaram por medir o VM utilizando os mesmos princípios de deslocamento de fluido descritos pela primeira vez por Arquimedes no século III a.C.<sup>60</sup>. Entretanto, há evidências de que o volume muscular medido em cadáveres não reflete com precisão o volume muscular *in vivo*. Estima-se que o volume determinado por somas de imagens de ressonância magnética *in vivo* sequenciais foram, em média, 64% maiores do que aqueles calculados em espécimes cadavéricos comparáveis<sup>57</sup>.

Parâmetros arquiteturais que consideram a estrutura interna do músculo em 3D — como a área de secção transversal fisiológica (ASTF) — oferecem uma estimativa muito mais precisa da força gerada pelo músculo e, por isso, são preferencialmente utilizados em detrimento do volume muscular<sup>58</sup>.

#### 6.2.5 Área de secção transversal anatômica

A área de secção transversal anatômica (ASTA) - frequentemente, referida simplesmente como área de secção transversal - é definida como a área de uma secção transversal de um músculo, tomada ortogonalmente ao seu eixo longitudinal<sup>61</sup>. As medições, geralmente, são realizadas no ponto mais largo, mas podem ser tomadas a uma distância específica de um marco anatômico. Entre meados do século XIX e XX, a ASTA muscular foi amplamente aceita como sendo diretamente proporcional à produção máxima de força desse músculo<sup>58</sup>. As medições *in vivo* deste parâmetro foram facilitadas pelo desenvolvimento de técnicas como ultrassonografia (US)<sup>60</sup> e tomografia computadorizada (TC)<sup>62</sup>. No entanto, estudos questionam a aplicabilidade da ASTA para músculos nos quais a orientação das fibras musculares não é paralela ao eixo longitudinal em todo o comprimento do músculo<sup>58</sup>, como no tríceps sural. Embora uma distinção clara tenha sido estabelecida desde então entre ASTA e área de secção transversal fisiológica, a ambiguidade entre esses dois parâmetros ainda é

comum, especialmente em estudos de ressonância magnética, amplamente considerada o “padrão ouro” para definir a secção transversal dos músculos.

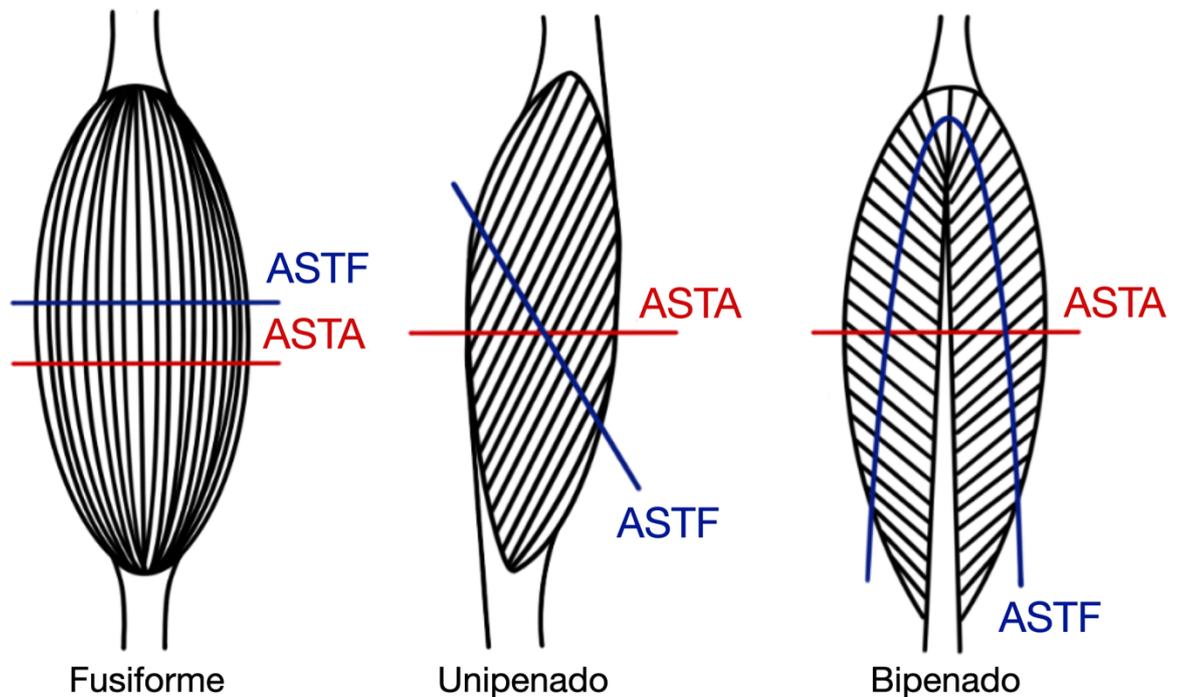
### 6.2.6 Área de secção transversal fisiológica

A área de secção transversal fisiológica (ASTF) é, frequentemente, considerada o parâmetro arquitetural mais relevante funcionalmente, pois é proporcional à capacidade máxima de geração de força de um músculo ou de parte dele<sup>58,60</sup>. Em contraste com a ASTA, a ASTF leva em consideração o arranjo tridimensional variável do tecido contrátil em todo o volume muscular, medindo a área perpendicular à orientação da totalidade das fibras musculares.

A maioria dos modelos musculares calcula a ASTF utilizando o volume muscular, o ângulo de penetração (AP) e o comprimento do feixe de fibras (CFF), estimados ou medidos em músculos cadavéricos ou *in vivo*, com a densidade fixada em 1,05 g/cm<sup>3</sup> para músculos de mamíferos<sup>57,60</sup>. Conforme mencionado anteriormente, estudos anatômicos classicamente medem o volume muscular (VM) utilizando métodos de deslocamento de fluido ou exames de imagem.

O uso da ASTF como uma medida de geração de força é o método mais fidedigno e facilita a comparação das capacidades funcionais entre músculos. Desta maneira, pode ser utilizada como base para a construção de modelos biomecânicos, avaliação de disfunções e planejamento de intervenções cirúrgicas (Figura 37).

Os modelos tridimensionais obtidos pela presente série representam a maneira mais acurada de se calcular a ASTF, permitindo comparações de alta fidelidade entre os músculos grácil e bíceps braquial.

**Figura 37 -** Diferenças entre as medições da ASTA vs ASTF

Fonte: Produção do autor.

ASTA: Área de secção transversal anatômica, ASTF: Área de secção transversal fisiológica.

### 6.2.7 Resultados

Obtivemos que, morfologicamente, o músculo grácil e o bíceps braquial possuem feixes de fibras praticamente paralelos à linha de ação, conforme indicado pelo pequeno ângulo de penação, diferindo em  $0,5^\circ$  em média ( $4,4^\circ$  vs  $4,9^\circ$ ). A área de secção transversal fisiológica, indicativa da capacidade de geração de força, é comparável entre os dois músculos. Embora o comprimento dos feixes de fibras do músculo grácil seja cerca de 10 cm maior que os do bíceps braquial, essa diferença é necessária para a transferência muscular, uma vez que o grácil é fixado à clavícula/acrômio e sua unidade músculo-tendínea deve se estender até o antebraço. O músculo grácil possui um tendão distal com 27,1 cm de comprimento, em média, permitindo uma ancoragem confortável ao tendão distal do bíceps.

Definimos, portanto, que a dissecação, digitalização e modelagem 3D são metodologias viáveis e de alta fidelidade para documentar e comparar a arquitetura muscular dos músculos grácil e bíceps braquial. Os parâmetros arquiteturais dos músculos podem ser reproduzidos em um espaço tridimensional, permitindo a análise da morfologia muscular com elevado nível de detalhamento, inclusive dos feixes de fibras, linha de ação, volume muscular e área de secção transversal fisiológica.

### 6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo é uma das maiores séries relatadas de transferência livre do músculo grácil para restauração da flexão do cotovelo em pacientes adultos com lesão traumática do plexo braquial. Estudos clássicos, frequentemente, incluem pacientes pediátricos com paralisia obstétrica do plexo e outras doenças neuromusculares, o que pode levar a viés nos resultados, pois a reinervação nesse grupo de pacientes tende a ser razoavelmente melhor do que em adultos<sup>53</sup>.

Os resultados acerca da comparação entre os nervos doadores podem balizar estudos futuros que certamente contribuirão para um melhor resultado cirúrgico, e que em última análise procuram abrandar o sofrimento do paciente vítima desta dramática patologia que é a lesão do plexo braquial.

Ainda procurando contribuir para a melhora destes resultados conduzimos estudo anatômico em Toronto no Canadá que objetivou avançar no entendimento da arquitetura dos músculos grácil e bíceps braquial, utilizando metodologia inédita em nosso meio. Nenhum estudo anterior utilizou reconstrução tridimensional para coletar dados dos referidos músculos de forma volumétrica *in situ*, além dos nervos e vasos da vizinhança. Os modelos 3D construídos a partir desses dados possuem uma fidelidade maior do que era possível anteriormente, sendo reconstruções obtidas por meio de dissecação seriada e digitalização de espécimes anatômicos. Esta pesquisa é, também, a única a incorporar não apenas os feixes de fibras musculares no estudo, mas também as aponeuroses (tecido que não apresenta contratilidade) dos músculos grácil e bíceps braquial nos modelos comparativos.

Esta análise anatômica em três dimensões estabelece a base para uma comparação detalhada entre músculos doador e receptor, no contexto das transferências musculares. Consideramos que a compreensão das diferenças entre estas estruturas em termos de linha de ação, secção transversal, volume, entre outros aspectos, é de grande valia para o desenvolvimento de técnicas cirúrgicas para o tratamento de lesões neurológicas e musculares.

## **7 CONCLUSÃO**

---

## 7 CONCLUSÃO

Concluimos que a transferência livre do músculo grácil nas lesões traumáticas do plexo braquial é técnica cirúrgica confiável para obtenção de flexão do cotovelo nas lesões crônicas em adultos. O presente estudo não identificou diferença significativa no que se refere à força de flexão do cotovelo, quando se comparam os diferentes nervos doadores estudados (espinhal acessório, ulnar, mediano, intercostais e nervo frênico).

Concluimos, também, que a dissecação, digitalização e reconstrução tridimensional dos músculos grácil e bíceps é técnica viável para a comparação de parâmetros anatômicos entre estas estruturas.

## **REFERÊNCIAS**

---

**REFERÊNCIAS**

1. Narakas AO. The treatment of brachial plexus injuries. *Int Orthop*. 1985;9(1):29-36.
2. Coulet B, Boch C, Boretto J, Lazerges C, Chammas M. Free Gracilis muscle transfer to restore elbow flexion in brachial plexus injuries. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2011 Dec;97(8):785-92.
3. Oberlin C, Béal D, Leechavengvongs S, Salon A, Dauge MC, Sarcy JJ. Nerve transfer to biceps muscle using a part of ulnar nerve for C5–C6 avulsion of the brachial plexus: Anatomical study and report of four cases. *J Hand Surg*. 1994 Mar 1;19(2):232-7.
4. Colbert SH, Mackinnon SE. Nerve transfers for brachial plexus reconstruction. *Hand Clin*. 2008 Nov;24(4):341-61.
5. Chuang DC, Wei FC, Noordhoff MS. Cross-chest C7 nerve grafting followed by free muscle transplantations for the treatment of total avulsed brachial plexus injuries: a preliminary report. *Plast Reconstr Surg*. 1993 Sep;92(4):717-25; discussion 726-7.
6. Azze RJ, Mattar R, Ferreira MC, Starck R, Canedo AC. Extraplexual neurotization of brachial plexus. *Microsurgery*. 1994;15(1):28-32.
7. Barrie KA, Steinmann SP, Shin AY, Spinner RJ, Bishop AT. Gracilis free muscle transfer for restoration of function after complete brachial plexus avulsion. *Neurosurg Focus*. 2004 May;16(5):1-9.
8. Kimura LK, do Nascimento AT, Capócio R, Mattar R Jr, Rezende MR, Wei TH, Torres LR, Moya FM. Microsurgical transfer of the gracilis muscle for elbow flexion in brachial plexus injury in adults: retrospective study of eight cases. *Rev Bras Ortop*. 2015 Dec 6;46(5):534-9.
9. Maldonado AA, Romero-Brufau S, Kircher MF, Spinner RJ, Bishop AT, Shin AY. Free functioning gracilis muscle transfer for elbow flexion reconstruction after traumatic adult brachial pan-plexus injury: where is the optimal distal tendon attachment for elbow flexion? *Plast Reconstr Surg*. 2017 Jan;139(1):128-36.
10. Doi K, Muramatsu K, Hattori Y, Otsuka K, Tan SH, Nanda V, Watanabe M. Restoration of prehension with the double free muscle technique following complete avulsion of the brachial plexus. Indications and long-term results. *J Bone Joint Surg Am*. 2000 May;82(5):652-66.
11. Hattori Y, Doi K, Ohi R, Fukushima S, Baliarsing AS. Clinical application of intraoperative measurement of choline acetyltransferase activity during functioning free muscle transfer. *J Hand Surg*. 2001 Jul 1;26(4):645-8.
12. Chin K, Vasdeki D, Hart A. Inverted free functional gracilis muscle transfer for the restoration of elbow flexion. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2013 Jan;66(1):144-6.

13. Manktelow RT, Zuker RM. The principles of functioning muscle transplantation: applications to the upper arm. *Ann Plast Surg.* 1989;22(4):275-82.
14. Bowden REM, Gutmann E. Denervation and reinnervation of human voluntary muscle. *Brain.* 1944 Dec 1;67(4):273-313.
15. Seddon HJ. Three types of nerve injury. *Brain.* 1943 Dec 1;66(4):237-88.
16. Sunderland S. A classification of peripheral nerve injuries producing loss of function. *Brain J Neurol.* 1951 Dec;74(4):491-516.
17. Sunderland S, Ray LJ. Denervation changes in mammalian striated muscle. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1950 Aug;13(3):159-77.
18. Aird RB, Naffziger HC. The pathology of human striated muscle following denervation. *J Neurosurg.* 1953 May;10(3):216-27.
19. Hovnanian AP. Latissimus dorsi transplantation for loss of flexion or extension at the elbow: a preliminary report on technics. *Ann Surg.* 1956 Apr;143(4):493-9.
20. Tamai S, Komatsu S, Sakamoto H, Sano S, Sasauchi N. Free muscle transplants in dogs, with microsurgical neurovascular anastomoses. *Plast Reconstr Surg.* 1970 Sep;46(3):219-25.
21. Thesleff S. Physiological effects of denervation of muscle. *Ann N Y Acad Sci.* 1974 Mar 22;228(0):89-104.
22. Harii K, Ohmori K, Sekiguchi J. The free musculocutaneous flap. *Plast Reconstr Surg.* 1976 Mar;57(3):294-303.
23. Harii K, Ohmori K, Torii S. Free gracilis muscle transplantation, with microneurovascular anastomoses for the treatment of facial paralysis. A preliminary report. *Plast Reconstr Surg.* 1976 Jul;57(2):133-43.
24. Terzis JK, Sweet RC, Dykes RW, Williams HB. Recovery of function in free muscle transplants using microneurovascular anastomoses. *J Hand Surg.* 1978 Jan;3(1):37-59.
25. Manktelow RT, McKee NH. Free muscle transplantation to provide active finger flexion. *J Hand Surg.* 1978 Sep;3(5):416-26.
26. Ikuta Y, Yoshioka K, Tsuge K. Free muscle transfer. *Aust N Z J Surg.* 1980;50(4):401-5.
27. Harii K, Iwaya T, Kawaguchi N. Combination myocutaneous flap and microvascular free flap. *Plast Reconstr Surg.* 1981 Nov;68(5):700-11.
28. Mathes SJ, Nahai F. Classification of the vascular anatomy of muscles: experimental and clinical correlation. *Plast Reconstr Surg.* 1981 Feb;67(2):177-87.
29. Takami H, Takahashi S, Ando M. Latissimus dorsi transplantation to restore elbow flexion to the paralysed limb. *J Hand Surg.* 1984 Feb;9(1):61-3.

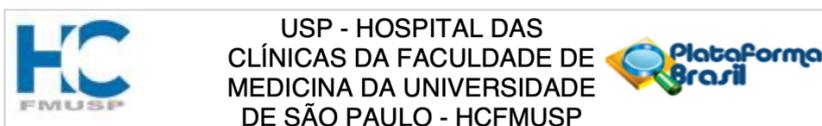
30. Midha R. Epidemiology of brachial plexus injuries in a multitrauma population. *Neurosurgery*. 1997 Jun;40(6):1182-8; discussion 1188-9.
31. Rocha JR, Chambriard C, Bijos P, de Barros PB. Aspectos clínicos e epidemiológicos das lesões do plexo braquial. *Rev INTO*. 2004;2(1):11-21.
32. Flores LP. Estudo epidemiológico das lesões traumáticas de plexo braquial em adultos. *Arq Neuropsiquiatr*. 2006 Mar;64(1):88-94.
33. Faglioni W, Siqueira MG, Martins RS, Heise CO, Foroni L. The epidemiology of adult traumatic brachial plexus lesions in a large metropolis. *Acta Neurochir (Wien)*. 2014 May;156(5):1025-8.
34. Mello Jr J dos S, Souza TCR, Andrade FG, Castaneda L, Baptista AF, Nunes S K, Vargas CD, Gomes MM, Guedes JF, Martins JV. Perfil epidemiológico de pacientes com lesão traumática do plexo braquial avaliados em um Hospital Universitário no Rio de Janeiro. *Rev Bras Neurol*. 2011;48(3):5-8.
35. Dy CJ, Peacock K, Olsen MA, Ray WZ, Brogan DM. Incidence of surgically treated brachial plexus injury in privately insured adults under 65 years of age in the USA. *HSS J®*. 2020 Dec;16(S2):339-43.
36. Cho ÁB, Guerreiro AC, Ferreira CHV, Kiyohara LY, Sorrenti L. Epidemiological study of traumatic brachial plexus injuries. *Acta Ortopédica Bras*. 2020 Feb;28(1):16-8.
37. Aids to the examination of the peripheral nervous system - MRC Memorandum No.45 (superseding War Memorandum No.7). Her majesty's stationery office. Crown; 1975.
38. Dyck PJ, Boes CJ, Mulder D, Millikan C, Windebank AJ, Dyck PJ, Espinosa R. History of standard scoring, notation, and summation of neuromuscular signs. A current survey and recommendation. *J Peripher Nerv Syst*. 2005 Jun;10(2):158-73.
39. Bengtson KA, Spinner RJ, Bishop AT, Kaufman KR, Coleman-Wood K, Kircher MF, Shin AY. Measuring outcomes in adult brachial plexus reconstruction. *Hand Clin*. 2008 Nov;24(4):401-15.
40. Bhardwaj P, Bhardwaj N. Motor grading of elbow flexion - is Medical Research Council grading good enough? *J Brachial Plex Peripher Nerve Inj*. 2009;04(01):e1-2.
41. Allieu Y, Cenac P. Neurotization via the spinal accessory nerve in complete paralysis due to multiple avulsion injuries of the brachial plexus: *Clin Orthop*. 1988 Dec;(237):67-74.
42. Friedman AH, Nunley JA, Goldner RD, Oakes WJ, Goldner JL, Urbaniak JR. Nerve transposition for the restoration of elbow flexion following brachial plexus avulsion injuries. *J Neurosurg*. 1990 Jan;72(1):59-64.

43. Leechavengvongs S, Witoonchart K, Uerpaiojkit C, Thuvasethakul P. Nerve transfer to deltoid muscle using the nerve to the long head of the triceps, part II: a report of 7 cases. *J Hand Surg.* 2003 Jul 1;28(4):633-8.
44. Wolfe SW, Johnsen PH, Lee SK, Feinberg JH. Long-nerve grafts and nerve transfers demonstrate comparable outcomes for axillary nerve injuries. *J Hand Surg.* 2014 Jul 1;39(7):1351-7.
45. Sixth Peoples Hospital. Free muscle transplantation by microsurgical neurovascular anastomoses. Report of a case. *Chin Med J (Engl).* 1976 Jan;2(1):47-50.
46. Akasaka Y, Hara T, Takahashi M. Restoration of elbow flexion and wrist extension in brachial plexus paralyses by means of free muscle transplantation innervated by intercostal nerve. *Ann Chir Main Memb Supér.* 1990 Jan;9(5):341-50.
47. Berger A, Flory PJ, Schaller E. Muscle transfers in brachial plexus lesions. *J Reconstr Microsurg.* 1990 Apr;6(02):113-6.
48. Doi K, Sakai K, Kuwata N, Ihara K, Kawai S. Reconstruction of finger and elbow function after complete avulsion of the brachial plexus. *J Hand Surg.* 1991 Sep;16(5):796-803.
49. Chuang DCC, Epstein MD, Yeh MC, Wei FC. Functional restoration of elbow flexion in brachial plexus injuries: Results in 167 patients (excluding obstetric brachial plexus injury). *J Hand Surg.* 1993 Mar;18(2):285-91.
50. Chuang DCC, Carver N, Wei FC. Results of functioning free muscle transplantation for elbow flexion. *J Hand Surg.* 1996 Nov;21(6):1071-7.
51. Doi K, Sakai K, Fuchigami Y, Kawai S. Reconstruction of irreparable brachial plexus injuries with reinnervated free-muscle transfer: Case report. *J Neurosurg.* 1996 Jul;85(1):174-7.
52. Sungpet A, Suphachatwong C, Kawinwonggowit V. Transfer of one fascicle of ulnar nerve to functioning free gracilis muscle transplantation for elbow flexion. *ANZ J Surg.* 2003;73(3):133-5.
53. Kay S, Pinder R, Wiper J, Hart A, Jones F, Yates A. Microvascular free functioning gracilis transfer with nerve transfer to establish elbow flexion. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2010 Jul 1;63(7):1142-9.
54. Yang Y, Yang JT, Fu G, Li XM, Qin BG, Hou Y, et al. Functioning free gracilis transfer to reconstruct elbow flexion and quality of life in global brachial plexus injured patients. *Sci Rep.* 2016 Mar 3;6(1):22479.
55. Hinchcliff KM, Kircher MF, Bishop AT, Spinner RJ, Shin AY. Factors impacting the success of free functioning gracilis muscle transfer for elbow flexion in brachial plexus reconstruction. *Plast Reconstr Surg.* 2022 May;149(5):921e.

56. Persad LS, Wu KY, Hooke AW, Lieber RL, Shin AY, Kaufman KR. Optimal distal tendon insertion point for elbow flexion in free-functioning gracilis muscle transfer for panbrachial plexus injuries: a cadaveric study. *J Hand Surg Am.* 2023 Jul 21:S0363-5023(23)00295-2.
57. Lieber RL, Fridén J. Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle Nerve.* 2000 Nov;23(11):1647-66.
58. Loh EY, Agur AM, McKee NH. Intramuscular innervation of the human soleus muscle: A 3D model. *Clin Anat.* 2003 Sep;16(5):378-82.
59. Ravichandiran K, Ravichandiran M, Oliver ML, Singh KS, McKee NH, Agur AMR. Determining physiological cross-sectional area of extensor carpi radialis longus and brevis as a whole and by regions using 3D computer muscle models created from digitized fiber bundle data. *Comput Methods Programs Biomed.* 2009 Sep;95(3):203-12.
60. Fattah AY, Ravichandiran K, Zuker RM, Agur AMR. A three-dimensional study of the musculotendinous and neurovascular architecture of the gracilis muscle: Application to functional muscle transfer. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2013 Sep;66(9):1230-7.
61. Lee D, Li Z, Sohail QZ, Jackson K, Fiume E, Agur A. A three-dimensional approach to pennation angle estimation for human skeletal muscle. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2015 Oct 3;18(13):1474-84.
62. Uhl JF, Jorge J, Lopes DS, Campos PF, editors. *Digital anatomy: applications of virtual, mixed and augmented reality.* Cham: Springer International Publishing; 2021. (Human-Computer Interaction Series).



## ANEXO A – PARECER CONSUBSTANCIADO DO COMITE DE ÉTICA EM PESQUISA / PLATAFORMA BRASIL.



### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

#### DADOS DA EMENDA

**Título da Pesquisa:** Estudo comparativo das diversas neurotizações para transferência muscular livre do grácil para flexão do cotovelo em pacientes com lesão do plexo braquial pós-traumática.

**Pesquisador:** Alvaro Baik Cho

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 52633015.0.0000.0068

**Instituição Proponente:** Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da USP

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

#### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 4.488.923

#### Apresentação do Projeto:

Projeto original apresentado em 2015, " Estudo comparativo das diversas neurotizações para transferência muscular livre do grácil para flexão do cotovelo em pacientes com lesão do plexo braquial pós-traumática."

#### Objetivo da Pesquisa:

Pesquisadores apresentam emenda para:

- apresentar resultados parciais da casuística inicial, já publicada em 2 revistas médicas;
- notificar que parte do projeto será utilizado como pós graduação de um pesquisador;
- solicitar troca do pesquisador executante e responsável.

#### Avaliação dos Riscos e Benefícios:

mesmo perfil do projeto original:

#### Riscos:

Por tratar-se de estudo retrospectivo objetivando a coleta de dados registrados em prontuário, não há risco para os autores associado à realização da pesquisa.

#### Benefícios:

**Endereço:** Rua Ovídio Pires de Campos, 225 5º andar  
**Bairro:** Cerqueira Cesar **CEP:** 05.403-010  
**UF:** SP **Município:** SAO PAULO  
**Telefone:** (11)2661-7585 **Fax:** (11)2661-7585 **E-mail:** cappesq.adm@hc.fm.usp.br



Continuação do Parecer: 4.488.923

Por se tratar de procedimento rotineiro no serviço de cirurgia da mão e microcirurgia do Instituto de Ortopedia e Traumatologia (HC-FMUSP), há uma necessidade de se avaliar e comparar o resultado das diferentes neurotizações nas TML do grácil para a flexão do cotovelo. A avaliação do resultado dos diferentes aspectos técnicos, e eventual detecção de superioridade de uma neurotização ante as outras, é dado científico inédito com grande impacto potencial no tratamento destas lesões desafiadoras, tanto no Brasil como no cenário global.

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

O projeto original de 2015 previa inclusão de pacientes de junho de 2004 a dezembro de 2013. Os trabalhos publicados em 2019 e 2020, relatam a inclusão de 95 pacientes com pelo menos 24 meses de seguimento.

Os pesquisadores agora apresentam emenda solicitando inclusão de pacientes de junho de 2004 até dezembro de 2019, para aumentar a casuística e permitir análise melhor dos diferentes nervos usados na neurotização do enxerto de grácil.

O projeto original tinha dispensa do TCLE, que continua a ser solicitada. Acredito ser atualmente realmente difícil obter os termos dos pacientes já incluídos, até pelo tempo de obtenção de dados longo, chegando a 16 anos. Apesar da dispensa se aplicar nesse caso, os autores estar cientes que pela resolução N° 466, a dispensa está prevista apenas:

IV.8 - Nos casos em que seja inviável a obtenção do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido ou que esta obtenção signifique riscos substanciais à privacidade e confidencialidade dos dados do participante ou aos vínculos de confiança entre pesquisador e pesquisado.

Por fim, é solicitada troca de pesquisadores para fins de pós-graduação com anuência do pesquisador original para:

Orientador - Pesquisador Responsável:

Prof. Dr. Teng Hsiang Wei

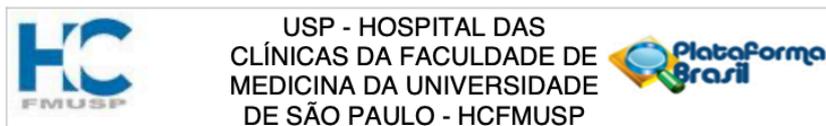
Pesquisador Executante:

Dr. Gustavo Bersani Silva

Co-Autores:

Prof. Dr. Rames Mattar Júnior

**Endereço:** Rua Ovidio Pires de Campos, 225 5° andar  
**Bairro:** Cerqueira Cesar **CEP:** 05.403-010  
**UF:** SP **Município:** SAO PAULO  
**Telefone:** (11)2661-7585 **Fax:** (11)2661-7585 **E-mail:** cappesq.adm@hc.fm.usp.br



Continuação do Parecer: 4.488.923

Prof. Dr. Marcelo Rosa de Rezende

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**  
adequados.

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Sugiro aprovar a inclusão dos novos casos de 2014 a 2019, e acatar a troca solicitada dos pesquisadores para uso dessa casuística mais completa em projeto de pós-graduação. O projeto não sofreu mudanças que o descaracterizem em relação ao original de 2015. Em projetos subsequentes, os pesquisadores devem atentar ao entendimento atual da CONEP que o fato da pesquisa ser retrospectiva, não justifica por si só a dispensa do TCLE.

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_1645380_E1.pdf	26/11/2020 07:48:50		Aceito
Outros	Relatorio_Andamento.pdf	26/11/2020 07:47:56	Alvaro Baik Cho	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Detalhado_Nervos_Doadores_Gracil.pdf	10/11/2020 09:31:50	Alvaro Baik Cho	Aceito
Outros	Emenda_2019.pdf	10/11/2020 09:29:53	Alvaro Baik Cho	Aceito
Declaração de Pesquisadores	scanner007.pdf	21/01/2016 09:37:42	Alvaro Baik Cho	Aceito
Declaração de Pesquisadores	scanner008.pdf	21/01/2016 09:37:30	Alvaro Baik Cho	Aceito
Declaração de Pesquisadores	scanner009.pdf	21/01/2016 09:37:10	Alvaro Baik Cho	Aceito
Folha de Rosto	FolhadeRosto.pdf	20/10/2015 14:54:00	Alvaro Baik Cho	Aceito

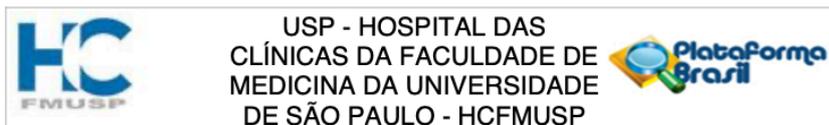
**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

**Endereço:** Rua Ovídio Pires de Campos, 225 5º andar  
**Bairro:** Cerqueira Cesar **CEP:** 05.403-010  
**UF:** SP **Município:** SAO PAULO  
**Telefone:** (11)2661-7585 **Fax:** (11)2661-7585 **E-mail:** cappelq.adm@hc.fm.usp.br



Continuação do Parecer: 4.488.923

SAO PAULO, 05 de Janeiro de 2021

---

**Assinado por:**  
**ALFREDO JOSE MANSUR**  
**(Coordenador(a))**

**Endereço:** Rua Ovídio Pires de Campos, 225 5º andar  
**Bairro:** Cerqueira Cesar **CEP:** 05.403-010  
**UF:** SP **Município:** SAO PAULO  
**Telefone:** (11)2661-7585 **Fax:** (11)2661-7585 **E-mail:** cappesq.adm@hc.fm.usp.br

**ANEXO B – BOLSA DE ESTUDOS CONCEDIDA PELA CAPES PARA REALIZAÇÃO DE PROJETO DE DOUTORADO-SANDUÍCHE NA UNIVERSIDADE DE TORONTO (ONTÁRIO/CANADA) PELO PERÍODO DE SETEMBRO/2022 E FEVEREIRO/2023**



Ministério da Educação - MEC  
Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES  
Setor Bancário Norte, Quadra 2, Bloco L, Lote 06  
CEP 70.040-031 - Brasília, DF

**DECLARAÇÃO DE RECEBIMENTO DE BOLSA**

Declaramos para os devidos fins que GUSTAVO BERSANI SILVA, identificado com o CPF número 311.635.628-90, recebeu a(s) bolsa(s) com modalidade(s), vigência(s), vínculo(s) e valor(es) conforme resumo abaixo.

**SCBA**

Tipo de Processo	Processo	Programa CAPES/Edital	IES de Estudo / Escola de Línguas	Modalidade	Curso ou PPG	Grupo de Pagamento	Vigência do Processo	Situação
BOLSA EXTERIOR	88887.694604/2022-00	PRINT - PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INTERNACIONALIZAÇÃO/CA PES/PRINT - Edital nº 41/2017	UNIVERSITY OF TORONTO	DOUTORADO SANDUÍCHE	CIÊNCIAS DO SISTEMA MUSCULOESQUELÉTICO	CSF - Doutorado Sanduiche - Restrição Duração	01/09/2022 - 28/02/2023	Acompanhamento - Aguardando primeira folha

Esclarecemos que as mensalidade pagas, de acordo com legislação específica, são isentas de imposto de renda e não caracterizam vínculo empregatício, portanto, não cabendo recolhimento de contribuição previdenciária.

Brasília, 24 de Junho de 2022



April 23, 2022

Professor Marco Kawamura Demange  
Post-graduate Program Coordinator  
Faculty of Medicine  
Sao Paulo University

Dear Professor Marco Kawamura Demange,

I would like to invite Dr. Gustavo Bersani Silva to complete a portion of his PhD studies, from September 2022 to February 2023, in my Musculoskeletal Laboratory at the University of Toronto.

We are presently working on a proposal to submit to the "PROGRAMA DE DOUTORADO SANDUÍCHE NO EXTERIOR – PDSE – 2022" for funding for Dr. Gustavo Bersani Silva. During this six-month timeframe he will complete a surgically focused project of the proximal upper limb as part of his PhD thesis titled "Comparison between donor nerves to motorize the free functioning gracilis muscle transfer for elbow flexion". This will involve data collection, data analysis and preparation of a manuscript for publication.

In my laboratory, over the past 25 years, we have developed a novel technique to collect cartesian coordinate data from any structures in the body and reconstruct the structure(s) volumetrically in 3D as *in situ*. The data collection involves meticulous dissection, digitization and laser scanning of the skeleton, nerves, arteries, veins and/or musculoaponeurotic architecture at the fiber bundle/aponeurosis level. There has been extensive development of computer software in the laboratory to enable visualization and organization of the data collected from the serial dissections. Software has also been developed that can be used to reconstruct the cartesian coordinate data points into 3D models. The models enable visualization and quantification of the relationships of structures and architectural parameters in 3D space. Software development is ongoing, as advances in technology enable increasingly better modelling opportunities.

The current framework enables 3D structure and relationships to be explored and quantified. High fidelity computerized representations of the human anatomy, as *in situ*, present the opportunity to develop advanced and interactive visualization techniques. We are now using the data to develop augmented and virtual reality applications, which provide new higher fidelity simulation opportunities than previously possible. For example, image-guided nerve blocks and radiofrequency ablation procedures to treat postoperative and chronic joint pain need to be validated and optimized on high fidelity cadaveric models of the sensory innervation of joints prior to clinical use.

Our lab is the leader in this field, as no other laboratory has this modelling capacity to allow for investigation of anatomical structure and relationships as *in situ*, and to concurrently assess the efficacy of clinical procedures.

I am looking forward to working with Dr. Bersani Silva.

Sincerely,

*Anne Agur*

Anne Agur PhD

Professor

Division of Anatomy, Department of Surgery  
1 King's College Circle  
Medical Sciences Building Rm 1158  
Toronto, Ontario, Canada  
M5S 1A8  
+1 416-978-8855  
anne.agur@utoronto.ca