



LESI PLEKSUS BRAKIALIS

Tata Laksana Komprehensif

HERI SUROTO

EDITOR : FERDIANSYAH



LESI PLEKSUS BRAKIALIS

Tata Laksana Komprehensif

Pasal 113 Undang-undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta:

- (1) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
- (2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/ atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- (3) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/ atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- (4) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

LESI PLEKSUS BRAKIALIS

Tata Laksana Komprehensif

HERI SUROTO

Editor: FERDIANSYAH



Airlangga
University
Press

■ Pusat Penerbitan dan Percetakan
Universitas Airlangga

LESI PLEKSUS BRAKIALIS Tata Laksana Komprehensif

Heri Suroto

2019 © **AIRLANGGA UNIVERSITY PRESS**

Anggota IKAPI: 001/JTI/95

Anggota APPTI: 001/KTA/APPTI/X/2012

AUP874.03/0C488-09/19-B1E

Kampus C Unair, Mulyorejo Surabaya 60115
Telp. (031) 5992246, 5992247 Fax. (031) 5992248
E-mail: adm@aup.unair.ac.id

Layout (Roy Wahyudi) – Cover (Erie Febrianto)

Dicetak oleh:

Pusat Penerbitan dan Percetakan UNAIR

Dilarang mengutip dan/atau memperbanyak tanpa izin tertulis dari
Penerbit sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apa pun.

Perpustakaan Nasional RI. Data Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Suroto, H.

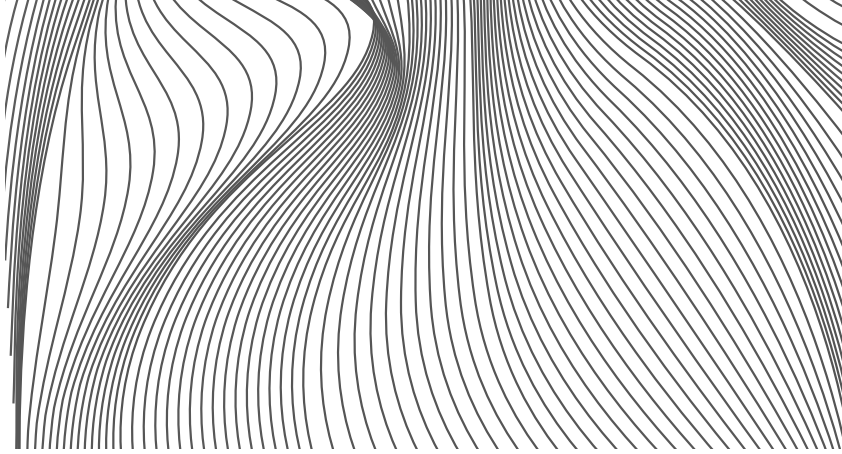
Lesi Pleksus Brakialis: Tata Laksana Komprehensif/
Heri Suroto. Editor: Ferdiansyah. -- Surabaya:
Airlangga University Press, 2019.

xx, 142 hlm. ; 23 cm

ISBN 978-602-473-211-0

1. Penyakit Sistem Saraf. I. Judul.

616.856



Prakata

Puji syukur atas rahmat Tuhan Yang Maha Esa, sehingga buku Lesi Pleksus Brakialis Tata Laksana Komprehensif dapat diselesaikan pada tahun 2019 atas kerja sama dan upaya dari seluruh anggota komunitas Pleksus Brakialis dan pasien lesi Pleksus Brakialis.

Diskusi Pleksus Brakialis *Injury* di RSUD Dr. Soetomo/FK Universitas Airlangga telah dilaksanakan secara multidisiplin sejak tahun 2011. Diskusi tersebut melibatkan para dokter dari berbagai bidang ilmu dalam diagnostik dan terapi pleksus Brakialis, sehingga terjalin komunikasi yang baik dalam rangka mendapatkan diagnostik dan manajemen yang komprehensif bagi pasien. Dengan demikian, mutu pelayanan pada pasien yang menderita lesi pleksus Brakialis dapat ditingkatkan secara optimal.

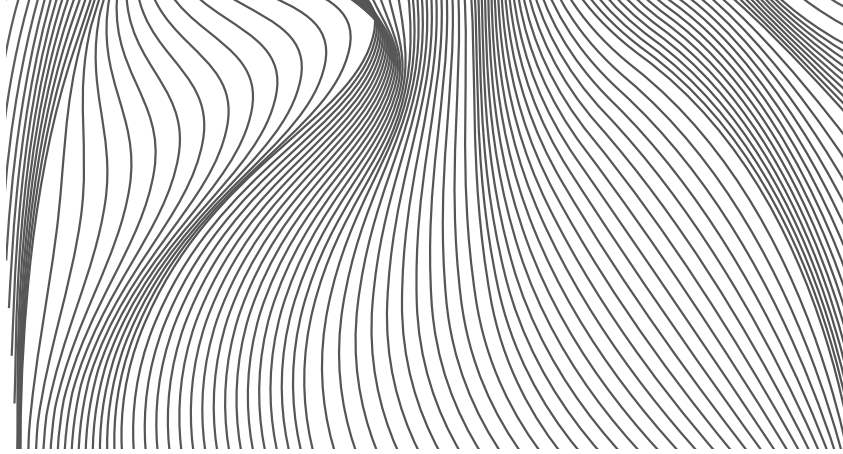
Komunitas Pleksus Brakialis Indonesia juga telah terbentuk sejak 2011. Komunitas yang melibatkan baik pasien maupun keluarga ini terbentuk karena adanya semangat yang sama dalam hal mendapatkan pemulihan fungsi dari anggota gerak atas yang terkena. Kegiatan “*family gathering*” yang diadakan setiap tahun menjadi media penyemangat satu sama lain dan bahkan menjadi umpan balik bagi penulis yang memang sudah memulai pelayanan bedah mikro rekonstruksi untuk saraf perifer sejak tahun 2005.

Pengalaman yang didapat dari diskusi bersama komunitas pleksus Brakialis telah menambah khazanah pengetahuan yang sangat bermanfaat, baik untuk para dokter yang terlibat, paramedis, dan tentunya juga bagi pasien karena mendapatkan pelayanan yang prima. Dengan semangat meningkatkan kualitas pelayanan dan untuk menyebarkan pengalaman yang didapat, maka kami menuangkan dalam bentuk buku sebagai referensi bagi para dokter spesialis, residen, dokter umum, mahasiswa, dan tenaga kesehatan lainnya.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh sejawat anggota komunitas Pleksus Brakialis yang telah memberi kontribusi besar sehingga buku ini dapat terselesaikan. Kepada para sekretaris yang membantu dalam proses penulisan, residen ortopaedi yang telah menjalani stase di divisi *upper extremity* yang ikut membantu menyelesaikan buku ini, paramedis, dan akhirnya kepada seluruh pasien lesi pleksus Brakialis yang dirawat di RSUD Dr. Soetomo yang telah memberikan dorongan dan inspirasi atas terbitnya buku ini.

Penulis

Heri Suroto



Sambutan Direktur RSUD Dr. Soetomo

Assalamualaikum Wr. Wb.

Penghargaan sebesar-besarnya saya sampaikan pada editor dan penulis buku ini atas upaya yang sangat serius sehingga terbit buku yang sangat bermanfaat dalam pelayanan, pendidikan dan penelitian bidang Lesi Pleksus Brakialis.

RSUD Dr. Soetomo Surabaya sebagai salah satu Rumah Sakit Tersier Pusat Rujukan Nasional berkomitmen untuk dapat menangani kasus lesi pleksus Brakialis secara paripurna. Dengan dukungan fasilitas, sumber daya, dan tenaga ahli medis yang tersedia, diharapkan dapat memberikan pelayanan yang berkualitas dan berstandar tinggi. Komunikasi dan kerja sama antar bidang ilmu pengetahuan mampu menganalisis setiap kasus dari berbagai sudut pandang, sehingga program diagnosis dan tata laksana pasien dapat terarah, efisien, dan tepat guna. Hal tersebut telah berjalan di RSUD Dr. Soetomo berupa forum diskusi rutin BPI (*Brachial Plexus Injury*) antara Departemen Orthopedi dan Traumatologi, Rehabilitasi Medik, dan Psikiatri sebagai wadah untuk membahas kasus dan perkembangan ilmu mutakhir dalam pengambilan keputusan penanganan kasus lesi pleksus Brakialis.

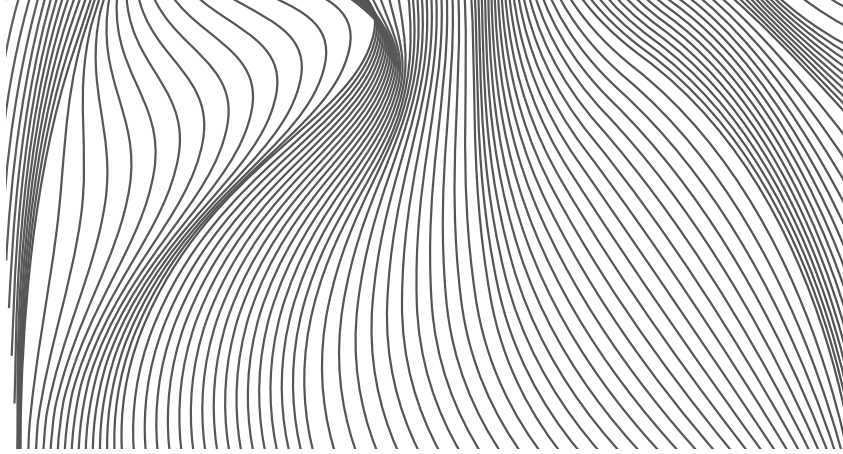
Buku ini diharapkan dapat menjadi referensi pemberi pelayanan dan pusat pendidikan dalam manajemen lesi pleksus Brakialis. Dengan pendekatan multidisiplin tersebut, diharapkan dapat mencegah penggunaan metode diagnosis yang tidak diperlukan maupun terapi yang tumpang tindih.

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT, kami berharap buku ini dapat bermanfaat dalam pelayanan, pendidikan, dan penelitian. Demikian yang dapat saya sampaikan, semoga buku ini bisa bermanfaat untuk pihak-pihak yang terkait.

Wassalamualaikum Wr.Wb.

Direktur RSUD Dr. Soetomo

Dr. Joni Wahyuhadi, dr., Sp.BS(K)



Sambutan Dekan Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga

Assalamualaikum Wr. Wb.

Syukur Alhamdulillah kami panjatkan ke hadirat Allah SWT atas hadirnya buku yang berjudul **Lesi Pleksus Brakialis Tata Laksana Komprehensif**. Buku ini disusun atas kerja sama dari beberapa Departemen Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga, antara lain Orthopedi dan Traumatologi Rehabilitasi Medik, dan Psikiatri. Diharapkan buku ini dapat memberikan pemahaman bahwa tata laksana penyakit lesi pleksus Brakialis memerlukan penanganan yang komprehensif dengan pendekatan multidisiplin ilmu kedokteran, serta membantu proses pendidikan kedokteran.

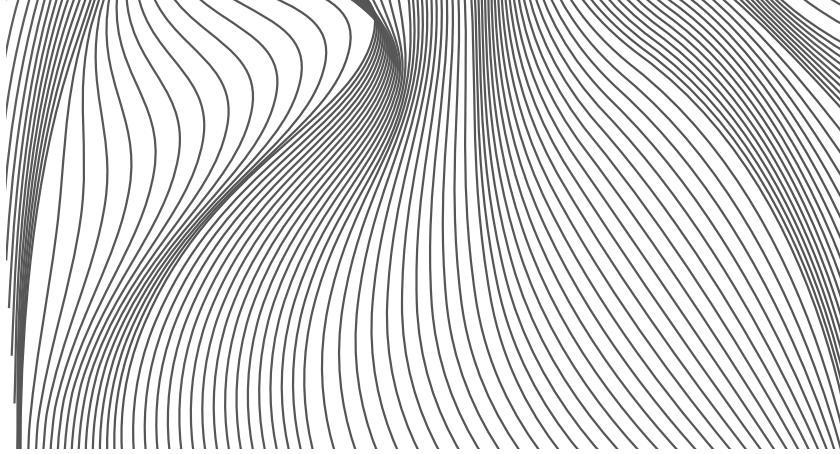
Kemajuan ilmu kedokteran menyebabkan tata cara penanganan lesi pleksus Brakialis semakin berkembang, sehingga dapat memberikan hasil yang lebih baik untuk pasien. Buku ini membahas secara detail dan mendalam mengenai penanganan lesi pleksus Brakialis dan diharapkan bisa menjadi referensi bagi pihak terkait dalam penanganan pasien. Hal tersebut semakin menyadarkan kita bahwa masih banyak hal yang belum diketahui secara pasti dan memerlukan penelitian lebih lanjut tentang lesi pleksus Brakialis, sehingga diharapkan dapat menginisiasi semangat penelitian dari seluruh civitas akademika.

Kami memberikan penghargaan kepada penulis, tim penyusun, dan editor yang telah mengorbankan tenaga dan pikiran serta saling bekerja sama dalam penyelesaian buku ini. Semoga buku ini banyak memberi manfaat tidak hanya untuk para pasien yang ditangani, tetapi secara khusus juga berperan dalam kemajuan ilmu pengetahuan mengenai penyakit lesi pleksus Brakialis.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Dekan Fakultas Kedokteran
Universitas Airlangga

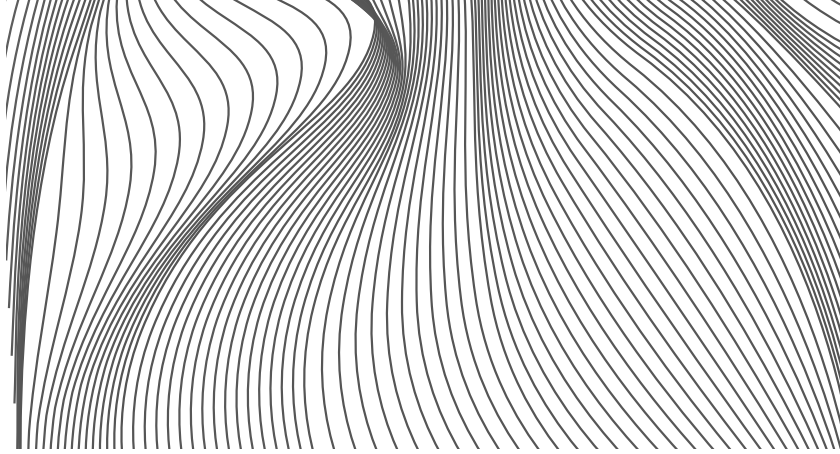
Prof. Dr. Soetojo, dr., Sp.U(K)



Daftar Isi

Prakata	v
Kata Sambutan	vii
Daftar Tabel	xiii
Daftar Gambar	xv
BAB 1. Pendahuluan.....	1
BAB 2. Anatomi dan Patomekanik Lesi Pleksus Brakialis.....	5
2.1 Anatomi Pleksus Brakialis	5
2.2 Patomekanik dan Patofisiologi Lesi Pleksus Brakialis	9
2.3 Degenerasi dan Regenerasi Otot yang Mengalami Denervasi Akibat Lesi Pleksus Brakialis.....	16
BAB 3. Pemeriksaan Klinis dan Penunjang Lesi Pleksus Brakialis.....	25
3.1 Pemeriksaan Klinis Lesi Pleksus Brakialis	25
BAB 4. Penanganan Komprehensif Lesi Pleksus Brakialis.....	43
4.1 Penanganan Lesi Pleksus Brakialis	43
4.2 Cangkok saraf (<i>Nerve Grafting</i>) pada lesi Pleksus Brakialis	62
4.3 Transfer Saraf (<i>Nerve Ttransfer</i>) pada Lesi Pleksus Brakialis	74

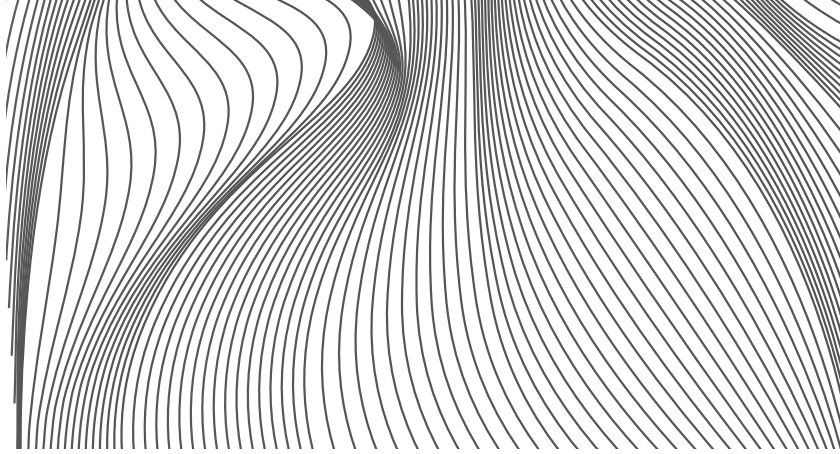
4.4	<i>Free Functioning Muscle Transfer</i> (FFMT) pada lesi Pleksus Brakialis.....	94
4.5	Neurolisis pada Lesi Pleksus Brakialis.....	106
4.6	Transfer Saraf C7 Kontralateral pada Lesi Pleksus Brakialis Avulsi Total.....	112
BAB 5.	Algoritma Penanganan Lesi Pleksus Brakialis	117
BAB 6.	Masa Depan Penanganan Lesi Pleksus Brakialis	121
6.1	Augmentasi Biologis dengan Pendekatan Rekayasa Jaringan Saraf	123
6.2	Rekonstruksi tangan <i>bionic</i> dengan pendekatan <i>myoelectric</i>	130
Daftar Pustaka	135



Daftar Tabel

Tabel 2.1	Rerata Jumlah Sel Satelit pada Penderita Cedera.....	19
Tabel 2.2	Rerata Jumlah Sel Satelit Menurut Onset Kejadian....	21
Tabel 2.3	Analisis Regresi Linear Hubungan dan Pengaruh Onset Kejadian terhadap Jumlah Sel Satelit Otot.....	23
Tabel 3.1	<i>Medical Research Council Scale. Aids to Examination of The Peripheral Nervous System</i>	30
Tabel 3.2	<i>Medical Research Council Scale Modified</i>	31
Tabel 3.3	Faktor yang Memengaruhi Prognosis Lesi Pleksus Brakialis	32
Tabel 3.4	Saraf, Otot, dan Fungsinya.....	32
Tabel 3.5	Telusur domain otot dari target hingga ke sumber, dari otot yang biasa digunakan untuk <i>needle</i> EMG pada lesi Pleksus Brakialis.....	37
Tabel 3.6	Telusur domain sensoris dari sisi pemeriksaan dengan melakukan studi konduksi saraf sensoris dan frekuensi abnormalitas dari berbagai level pada elemen Pleksus Brakialis	38
Tabel 4.1	Sisi Proksimal dan Distal Prosedur Graf Saraf Pleksus Brakialis.....	65

Tabel 4.2	Persentase Capaian Pemulihan Masing Masing Otot.....	66
Tabel 4.3	Karakteristik sampel data demografik data dari kelompok Cangkok Saraf dan Transfer Saraf pasien lesi Pleksus Brakialis di RSUD Dr. Soetomo periode Januari 2009-Desember 2014	71
Tabel 4.4	Perbandingan fungsi klinis pascaoperasi kelompok Cangkok Saraf dan Transfer Saraf pasien lesi Pleksus Brakialis di RSUD Dr. Soetomo periode Januari 2009 –Desember 2014.....	72
Tabel 4.5	Transfer Saraf Motorik yang Umum Digunakan pada Ekstremitas Atas	76
Tabel 4.6	Perbandingan Transfer Saraf Proksimal dan Distal ...	89
Tabel 4.7	Latihan Induksi pada Transfer Saraf.....	90



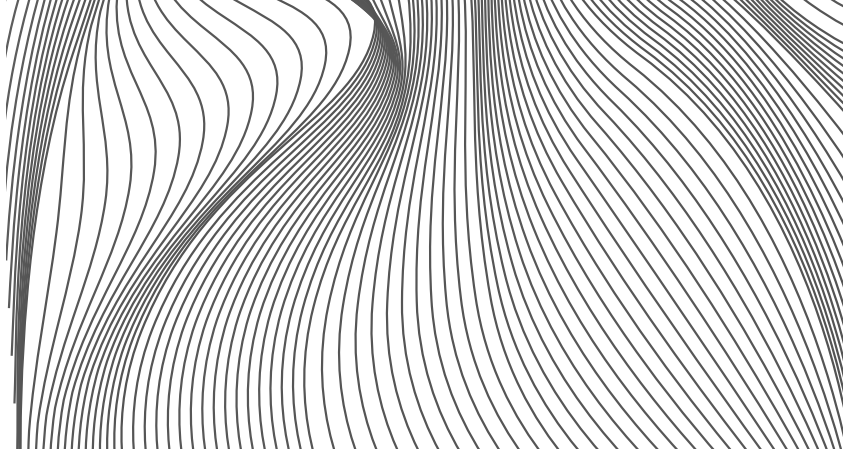
Daftar Gambar

Gambar 1.1	Operasi Lesi Pleksus Brakialis dari tahun ke tahun di RSUD Dr. Soetomo.....	2
Gambar 2.1	Anyaman dari akar saraf C5, C6, C7, C8, dan Th1 hingga cabang terminal secara klinis.....	6
Gambar 2.2	Hubungan topografi Pleksus Brakialis dengan Arteri Subclavia pada level korda maupun cabang terminal secara arteriografis	8
Gambar 2.3	Topografi level devisi Pleksus Brakialis yang tepat di belakang tulang klavikula (<i>retro clavicular</i>).....	8
Gambar 2.4	Kecelakaan sepeda gayuh dengan kondisi korban mengalami benturan bahu dan regangan antara kepala, leher, dan bahu.....	9
Gambar 2.5	Lesi Pleksus Brakialis Dekstra C5–Th1 Total Avulsi..	10
Gambar 2.6	Penampang melintang otot brakialis onset kejadian (A) 4 bulan, (B) otot biceps 9 bulan dan (C) 18 bulan pasca trauma	18
Gambar 2.7	Penampang melintang otot biceps 60 bulan pascatrauma	18
Gambar 2.8	Grafik Jumlah Sel Satelit Otot Brakialis Menurut Onset Kejadian Cedera.....	21

Gambar 2.9	Grafik Jumlah Sel Satelit Otot Biceps Menurut Onset Kejadian Cedera.....	22
Gambar 2.10	Grafik Jumlah Sel Satelit Otot Deltoid Menurut Onset Kejadian Cedera.....	22
Gambar 3.1	Lesi Arteri Axillaris dan Fraktur Clavikula yang menyertai lesi Pleksus Brakialis	26
Gambar 3.2	Tanda-tanda <i>Horner Syndrome</i> yaitu anhidrosis, ptosis, enophthalmus, dan miosis.....	28
Gambar 3.3	Lesi Pleksus Brakialis total C5–Th1 yang ditandai adanya atrofi pada hampir semua otot anggota gerak atas kanan.....	29
Gambar 3.4	Area dermatom sesuai dengan akar saraf cervical.....	29
Gambar 3.5	Sistem Gradasi Otot dan Dermatome Menurut <i>British Medical Research Council</i> (BMRC).....	34
Gambar 3.6	Hasil Pemeriksaan Thoraks AP pada Pasien Lesi Pleksus Brakialis Kiri.....	35
Gambar 3.7	Hasil pemeriksaan MRI Cervical yang dibuktikan dengan eksplorasi langsung saat operasi	35
Gambar 3.8	Pemeriksaan <i>Needle EMG</i>	40
Gambar 4.1	Bidang pembedahan <i>supraclavicular</i> , teridentifikasi N. Phrenicus, trunkus superior (yang membagi diri ke N. Suprascapular, devisi posterior dan anterior), dan trunkus medius yang merupakan kelanjutan <i>root C7</i>	49
Gambar 4.2	Bidang Pembedahan <i>supraclavicular</i> Ekstensi ke <i>infraclavicular</i>	51
Gambar 4.3	Regio Humerus, terlihat N. Musculocutaneous dengan percabangannya ke Biceps, Brakialis, dan Cutaneous Antebrachii lateralis	53
Gambar 4.4	Pendekatan posterior untuk N. Suprascapularis yang dineurotisasi dari N. Accesorius.....	54
Gambar 4.5	Transfer Saraf Untuk Rekonstruksi Fleksi Siku...	56

Gambar 4.6	Transfer saraf dari I fasikel N. Ulnaris ke cabang motorik Biceps N. Musculocutaneous	56
Gambar 4.7	<i>Free Functioning Muscle Transfer</i> dengan Donor dari Otot Gracillis	57
Gambar 4.8	<i>Trapeziusplasty</i> dilakukan dengan pelepasan insersi otot Trapezius yang diikuti dengan tendon <i>grafting</i> ke insersi otot Deltoid	60
Gambar 4.9	Skema operasi FFMT untuk memulihkan fleksi siku dan fleksi jari-jari tangan.....	61
Gambar 4.10	Lesi Pleksus Brakialis kanan pada daerah trunkus di retroklavikular yang dapat dijahit primer tanpa graf.....	62
Gambar 4.11	Pola cangkok saraf N. Suprascapularis	63
Gambar 4.12	Lesi Pleksus Brakialis kanan pada kasus akibat ledakan senjata api.....	68
Gambar 4.13	Eksplorasi dan pencangkokan saraf pada Lesi Pleksus Brakialis kanan akibat ledakan senjata api	69
Gambar 4.14	Transfer saraf N. Accessorius Spinalis ke N. Musculocutaneous dengan graf interposisi N. Suralis untuk rekonstruksi fleksi siku	79
Gambar 4.15	Topografi N. Intercostal pada Potongan Melintang Rongga Dada.....	81
Gambar 4.16	N. Musculocutaneous dengan kedua cabang motoriknya ke otot Biceps dan Brakialis	88
Gambar 4.17	Modifikasi Prosedur Oberlin, dobel fasikular transfer saraf yaitu I fasikel N. Medianus ke cabang motorik Biceps N. Musculocutaneous dan I fasikel N. Ulnaris ke cabang motorik Brakialis N. Musculocutaneous.....	93
Gambar 4.18	<i>Free Functioning Muscle Transfer</i> dari donor Gracillis untuk rekonstruksi fungsi fleksi siku dan ekstensi pergelangan tangan.....	102

Gambar 4.19	<i>Double</i> FFMT untuk rekonstruksi fleksi siku dan fleksi jari-jari tangan.....	102
Gambar 4.20	Tindakan Neurolisis N Medianus.....	107
Gambar 4.21	Tindakan eksplorasi dan neurolisis pada laki-laki 22 tahun yang mengalami kelumpuhan anggota gerak atas mulai dari bahu hingga jari-jari tangan kanan sejak 4 bulan sebelum operasi	108
Gambar 4.22	Evaluasi klinis hari pertama paska operasi eksplorasi dan neurolisis.....	109
Gambar 4.23	Laki-laki 28 tahun dengan kelumpuhan.....	110
Gambar 4.24	Delapan belas hari pascaoperasi telah terjadi pemulihan kekuatan motorik abduksi bahu dan fleksi siku dengan M 3+.....	111
Gambar 4.25	Lesi Pleksus Brakialis avulsi total yang disertai dengan fraktur Klavikula.....	112
Gambar 4.26	Transfer saraf C7 kontralateral dengan menggunakan donor graft dari N. Ulnaris.....	114
Gambar 5.1	Algoritma penanganan lesi pleksus Brakialis.....	120
Gambar 6.1	Pohon Penelitian Tata Laksana Komprehensif Lesi Pleksus Brakialis.....	122
Gambar 6.2	Metode pemberian sel punca.....	127
Gambar 6.3	Eksplorasi kembali saraf Ischiadicus dan pendekatan rekayasa jaringan saraf pada lesi N. Ischiadicus.....	129
Gambar 6.4	Tahapan sebelum dilakukan rekonstruksi bionik pada lesi total Pleksus Brakialis.....	131
Gambar 6.5	Tahapan Rekonstruksi <i>Bionic</i> pada Lesi Total Pleksus Brakialis.....	132



Daftar Singkatan

AP	: <i>Antero Posterior</i>
APB	: <i>Abductor Pollicis Brevis</i>
APR	: <i>Anterior Primary Ramus</i>
ARAT	: <i>Action Research Arm Test</i>
ATLS	: <i>Advanced Trauma Life Support</i>
BDNF	: <i>Brain Derived Neurotrophic Factor</i>
bFGF	: <i>Basic Fibroblast Growth Factor</i>
CMAP	: <i>Compound Muscle Action Potential</i>
CNF	: <i>Ciliary Neurotrophic Factor</i>
CT	: <i>Computerized Tomogram</i>
DASH	: <i>Disability of the Arm, Shoulder, and Hand</i>
DRG	: <i>Dorsal Root Ganglion</i>
ECRB	: <i>Extensor Carpi Radialis Brevis</i>
EDC	: <i>Ekstensor Digitorum Communis</i>
EMG	: <i>Electromyography</i>
EPL	: <i>Extensor Pollicis Longus</i>
FDP	: <i>Fleksor Digitorum Profundus</i>
FDS	: <i>Fleksor Digitorum Superficial</i>

FFMT	: <i>Free Functioning Muscle Transfer</i>
FGF	: <i>Fibroblast Growth Factor</i>
FPL	: <i>Fleksor Pollicis Longus</i>
GDNF	: <i>Glial Cell-line Derived Neurotrophic Factor</i>
GGF	: <i>Glial Growth Factor</i>
HE	: <i>Hematoxylin Eosin</i>
ICN	: <i>Intercostal Nerve</i>
IL	: <i>Interleukin</i>
KVP	: <i>Kapasitas Vital Paksa</i>
LIF	: <i>Leukemia Inhibitory Factor</i>
MMT	: <i>Manual Muscle Testing</i>
MRA	: <i>Magnetic Resonance Angiogram</i>
MRC	: <i>Medical Research Council</i>
MRI	: <i>Magnetic Resonance Imaging</i>
MRN	: <i>Magnetic Resonance Neurography</i>
NAP	: <i>Nerve Action Potential</i>
NGF	: <i>Nerve Growth Factor</i>
NT-3	: <i>Neurotrophin-3</i>
PPR	: <i>Posterior Primary Ramus</i>
ROM	: <i>Range of Motion</i>
SCM	: <i>Sterno Cleido Mastoideus</i>
SHAP	: <i>Southampton Hand Assessment Procedure</i>
SNAP	: <i>Sensory Nerve Action Potential</i>
SS	: <i>Sel Schwann</i>
SSEP	: <i>Somatosensory Evoked Potential</i>
VAS	: <i>Visual Analog Score</i>
VATS	: <i>Video-Assisted Thoracic Surgery</i>
VEGF	: <i>Vascular Endothelial Growth Factor</i>



BAB

Pendahuluan

1

Lesi Pleksus Brakialis adalah cedera anyaman saraf tepi di daerah leher (*Cervical*) dan bahu yang berakibat pada kelumpuhan otot-otot bahu, siku, pergelangan tangan, dan jari-jari tangan. Anyaman saraf tepi daerah *Cervical* yang dibentuk oleh akar saraf *Cervical* 5, 6, 7, 8, dan *Thoracal* 1, dapat mengalami kerusakan yang disebabkan oleh peregangan yang berlebihan, kompresi, atau terkena benda tajam dan mengakibatkan terputus atau bahkan tercabut. Kerusakan yang terjadi dapat sebagian maupun total dengan level cedera yang bervariasi, baik yang *supraclavicular* maupun yang *infraclavicular*. Kelumpuhan akan terjadi pada daerah bahu dan siku, jika kerusakan anyaman saraf tepi terjadi pada anyaman saraf tepi leher bagian atas. Kelumpuhan akan terjadi pada daerah pergelangan dan jari-jari tangan, jika kerusakan anyaman saraf tepi leher bagian bawah. Kelumpuhan pada seluruh anggota gerak atas, mulai dari bahu, siku, pergelangan tangan, dan jari-jari tangan terjadi jika kerusakan anyaman saraf tepi terjadi pada keseluruhan bagian anyaman tersebut.

Berdasarkan studi epidemiologis dari tahun 2005 hingga 2017 di SMF Ortopedi dan Traumatologi RSUD Dr. Soetomo Surabaya, telah dilakukan tindakan operasi terhadap lesi Pleksus Brakialis sebanyak 423 pasien. Sebaran pasien yang telah ditangani berasal mulai dari Aceh hingga Papua, yang sebagian besar (>90%) diakibatkan karena kecelakaan sepeda motor dan terutama terjadi pada kelompok usia 21–30 tahun.



Gambar 1.1

Operasi Lesi Pleksus Brakialis dari tahun ke tahun di RSUD Dr. Soetomo. (Sumber: Data Pribadi)

Sesuai dengan keterlibatan akar saraf yang cedera, maka lesi total Pleksus Brakialis C5–Th1 sebanyak 54%, lesi sebagian Pleksus Brakialis C5–6 sebanyak 24%, C5–6–7 sebanyak 19%, dan C8–Th1 sebanyak 3%.

Permasalahan yang ditimbulkan dari lesi Pleksus Brakialis ini meliputi berbagai aspek kehidupan, terutama kelumpuhan anggota gerak atas. Kelumpuhan anggota gerak atas tentunya akan berdampak pada fungsi kehidupan sehari-hari dan bahkan dalam pekerjaan. Kehilangan waktu bekerja akan berdampak pada kehidupan keluarga dan sosial. Tidak kalah berat juga terjadi dalam kehidupan pribadi, bahkan penderita dengan kehidupan pribadi yang kurang matang dapat mengakibatkan percobaan bunuh diri.

Kelumpuhan anggota gerak atas dapat terjadi karena otot-otot yang menggerakkan bahu, siku, pergelangan tangan, dan jari-jari tangan mengalami denervasi. Denervasi terjadi akibat dari kerusakan cabang-cabang saraf tepi yang keluar dari Pleksus Brakialis. Jaringan otot tidak dapat berkontraksi karena terjadi denervasi dan jaringan saraf tepi tidak dapat menginervasi otot karena mengalami kerusakan akibat dari trauma. Permasalahannya terletak pada proses penyembuhan yang melibatkan dua jaringan tersebut. Proses penyembuhan jaringan saraf tepi yang diawali oleh degenerasi Wallerian baik ke arah proksimal maupun distal. Proses degenerasi Wallerian ini diikuti dengan regenerasi aksonal. Regenerasi aksonal terjadi dengan kecepatan 0,5–1 mm/hari. Proses penyembuhan jaringan saraf tepi juga akan dipengaruhi oleh viabilitas sel neuron yang ada di *cornu anterior medulla spinalis* untuk sel saraf motorik dan sel neuron yang ada di *dorsal root ganglion* (DRG) untuk sel saraf sensorik. Proses penyembuhan jaringan otot juga tidak kalah peliknya dibandingkan dengan jaringan saraf tepi. Kunci dari penyembuhan jaringan otot ada di *motor end plate*. Sementara itu, ketahanan *motor end plate* untuk tetap dapat berfungsi dengan baik juga terbatas oleh waktu.

Permasalahan lambatnya proses penyembuhan jaringan saraf tepi dan diikuti dengan terbatasnya waktu ketahanan jaringan otot untuk dapat berkontraksi lagi, menjadikan kemungkinan pemulihan fungsi semakin kecil dan bahkan ada yang beranggapan kelumpuhan ini tidak akan dapat pulih kembali. Dalam kurun waktu yang sangat lama, anggapan bahwa penanganan terhadap lesi Pleksus Brakialis merupakan upaya yang sia-sia. Anggapan itu terjadi bukan hanya pada masyarakat awam, tetapi juga pada kalangan medis. Dari sudut pandang pasien yang mengalami penderitaan karena lesi Pleksus Brakialis, tentunya ada satu kata yaitu berupaya semaksimal mungkin untuk dapat sembuh. Permasalahan dalam konteks yang lebih luas adalah masih adanya jurang pemisah antara anggapan dan harapan seperti yang tergambar di atas.

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka diperlukan pemahaman yang lebih mendalam meliputi identifikasi adanya lesi Pleksus Brakialis dan langkah penanganannya. Tujuan penulisan buku ini adalah untuk memaparkan tentang lesi Pleksus Brakialis dari sudut pandang anatomi, patofisiologi, tanda dan gejala klinisnya, serta langkah penegakan diagnosis. Selain itu, pada buku ini akan dipaparkan penanganan lesi Pleksus Brakialis baik yang masih dalam keadaan akut maupun yang sudah kronis. Penanganan pada masa akut yang meliputi prosedur pembedahan yaitu eksplorasi dan eksternal neurektomi, cangkok saraf (*nerve grafting*), dan transfer saraf (*nerve transfer*). Penanganan pada masa kronis yang meliputi prosedur pembedahan yaitu *free functioning muscle transfer*, *trapeziusplasty*, maupun *flexorplasty*.



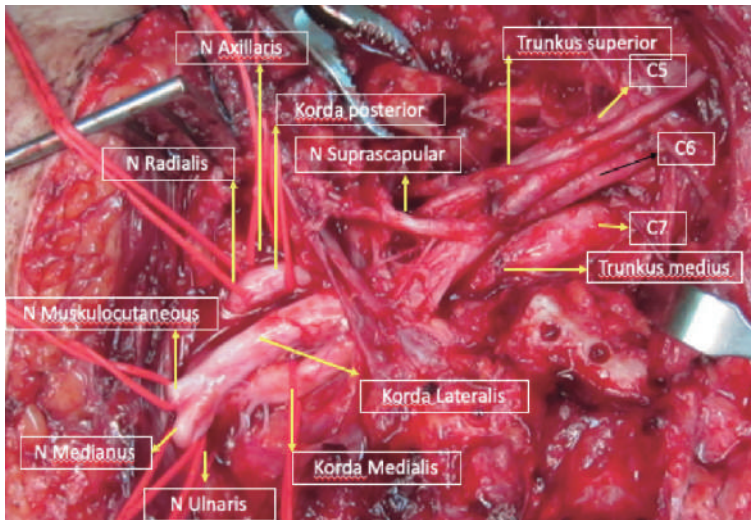
BAB

Anatomi dan Patomekanik Lesi Pleksus Brakialis

2

2.1 Anatomi Pleksus Brakialis

Pleksus Brakialis mempunyai 10.200 hingga 16.600 akson yang berasal dari *Anterior Primary Ramus (APR) Cervical 5,6,7,8*, dan *Thoracal 1*. Sel kornu anterior adalah sel neuron utama serabut motorik yang ada di medula spinalis. Neuron utama untuk sensoris berada di *Dorsal Root Ganglion (DRG)* yang ada di foramen intervertebra. Akar saraf ventral dan dorsal menyatu pada level distal dan DRG untuk membentuk saraf spinalis. Saraf spinalis mengeluarkan cabang tepat setelah keluar dari foramen vertebalis ke posterior yaitu *Posterior Primary Ramus (PPR)* yang mempersarafi otot-otot para spinalis. Saraf spinalis melanjutkan diri sebagai *Anterior Primary Ramus (APR)*. APR inilah yang dinamakan akar saraf (*root*) Pleksus Brakialis. Akar saraf dari C5, C6, C7, C8, dan Th1 membentuk anyaman yang saling berhubungan satu sama lain dan berada di daerah Brakhii, sehingga disebut Pleksus Brakialis, sebelum akhirnya berakhir pada cabang terminal. Secara skematis gambaran Pleksus Brakialis dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Anyaman dari akar saraf C5, C6, C7, C8, dan Th1 hingga cabang terminal secara klinis. (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Berdasarkan urutannya, maka akar saraf C5 dan C6 akan bergabung membentuk trunkus proksimal, namun akar saraf C5 sebelumnya telah memberikan cabang ke Nervus (N) Thorakalis Longus dan N. Dorsal Scapulae. N. Thorakalis Longus yang merupakan gabungan dari percabangan akar saraf C5, C6, dan C7 yang akan menginervasi otot Seratus Anterior. N. Dorsal Scapulae akan menginervasi otot Rhomboid. Trunkus proksimal mengeluarkan cabang N. Suprascapular yang akan menginervasi otot Supraspinatus dan Infraspinatus. Akar saraf C7 sebelum menjadi trunkus medius telah memberikannya ke N. Thorakalis Longus. Akar saraf C8 dan Th1 akan bergabung membentuk trunkus inferior.

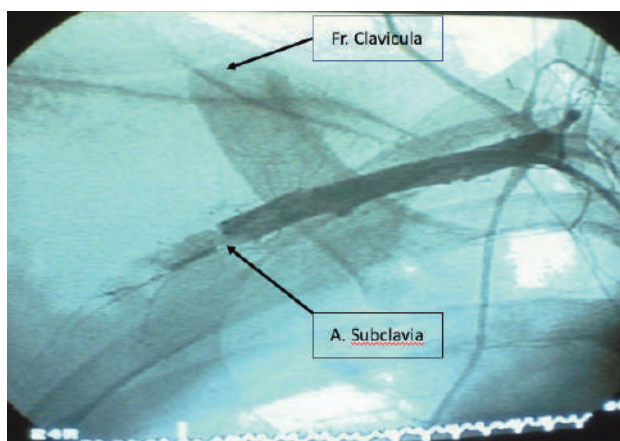
Trunkus terbentang di antara otot scalenus anterior dan medius. Dibalik klavikula trunkus proksimal, selanjutnya akan terbagi 2 yaitu devisi anterior yang akan bergabung dengan devisi anterior trunkus medius membentuk korda lateral, sementara devisi posterior dari trunkus proksimal akan bergabung dengan devisi posterior trunkus medius dan inferior untuk membentuk korda posterior. Sementara

dari trunkus inferior akan melanjutkan dirinya sebagai devisi anterior menjadi korda medialis.

Tidak ada percabangan yang keluar dari trunkus medius dan inferior. Korda lateralis memberikan percabangannya ke N. Pektoralis lateralis yang akan menginervasi otot Pektoralis Mayor, dan selanjutnya anyaman ini diakhiri dengan cabang terminal ke N. Muskulocutaneous dan N. Medianus. Korda posterior akan memberikan percabangannya ke N. Subscapularis proksimal dan distal yang akan menginervasi otot Subscapularis. Corda posterior juga akan memberikan percabangan ke N. Thoracodorsal yang menginervasi otot Latissimus Dorsi. Korda posterior akan mengakhiri anyaman pada cabang terminal menjadi N. Aksilaris dan N. Radialis. Korda medialis akan memberikan percabangannya ke N. Cutaneous Brachii medialis dan N. Cutaneous Antebrachii medialis untuk selanjutnya akan mengakhiri anyamannya pada cabang terminal N. Ulnaris dan N. Medianus.

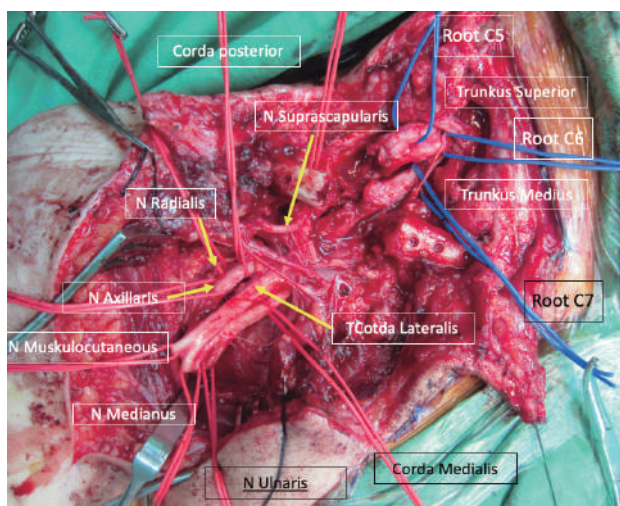
Perlu diperhatikan bahwa anyaman saraf pada Pleksus Brakialis ini sangat dekat hubungannya dengan arteri subklavia, terutama ada level korda maupun cabang terminal. Pada saat pembedahan eksplorasi Pleksus Brakialis, struktur pembuluh darah ini setidaknya perlu diidentifikasi terlebih dahulu sebelum melanjutkannya guna menghindari kemungkinan terjadinya cedera arteri ini. Sebagai ilustrasi kasus seperti terlihat pada Gambar 2.2 yang menggambarkan kejadian lesi Pleksus Brakialis yang menyertai fraktur klavikula dan bahkan lesi arteri subklavia.

Anyaman saraf Pleksus Brakialis ini juga sangat dekat dan berhubungan dengan tulang klavikula. Apabila terjadi sesuatu pada tulang klavikula hingga mengakibatkan tulang patah, maka harus selalu diperiksa kondisi saraf dari Pleksus Brakialis. Konfigurasi patah tulang dan arah pergeseran fragmen patahan tulang sisi lateral yang mengarah ke inferior dapat mengakibatkan kerusakan pada Pleksus Brakialis.



Gambar 2.2

Hubungan topografi Pleksus Brakialis dengan Arteri Subclavia pada level korda maupun cabang terminal secara arteriografis. Pada gambar tampak adanya lesi arteri Subclavia dan fraktur klavikula yang menyertai lesi Pleksus Brakialis. (Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 2.3

Topografi level devisi Pleksus Brakialis yang tepat di belakang tulang klavikula (*retro clavicular*). Lesi Pleksus Brakialis yang menyertai patah tulang klavikula. (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

2.2 Patomekanik dan Patofisiologi Lesi Pleksus Brakialis

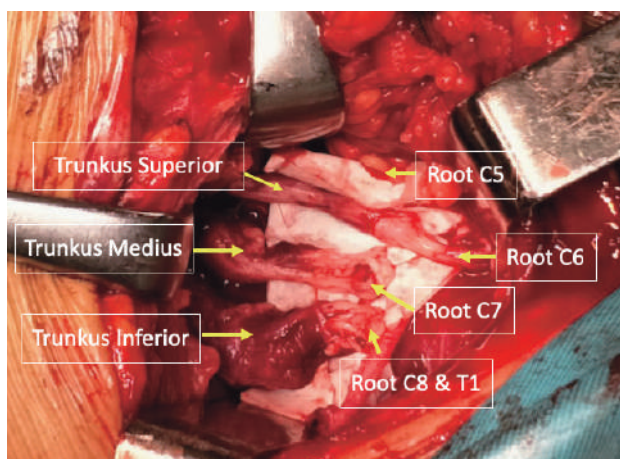
Berdasarkan data kasus serial lesi Pleksus Brakialis di RSUD Dr. Soetomo dari tahun 2005 hingga 2017, didapatkan mekanisme trauma yang terbanyak adalah kecelakaan sepeda motor sebanyak 90%, kecelakaan sepeda kayuh (Gambar 2.4) sebanyak 4%, jatuh dari ketinggian sebanyak 3%, dan kecelakaan rumah tangga sebanyak 3%.

Cedera yang dapat ditimbulkannya adalah lesi Pleksus Brakialis dengan tingkatan keparahan yang bervariasi dari lesi Pleksus sebagian hingga total. Berdasarkan data kasus serial lesi Pleksus Brakialis di RSUD Dr. Soetomo dari tahun 2005 hingga 2017 didapatkan bahwa lesi total C5–Th1 adalah 54%, selebihnya lesi parsial C5–C6 sebanyak 24%, C5–C7 sebanyak 19%, dan C8–Th1 sebanyak 3%. Pada lesi Pleksus Brakialis total, level cedera dapat merupakan total avulsi seperti tampak pada Gambar 2.5, namun yang paling sering adalah cedera postganglionik pada pleksus bagian atas disertai level preganglionik (avulsi) bagian bawah.



Gambar 2.4

Kecelakaan sepeda gayuh dengan kondisi korban mengalami benturan bahu dan regangan antara kepala, leher, dan bahu. (Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 2.5

Lesi Pleksus Brakialis Dekstra C5–Th1 Total Avulsi.
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Ketika terjadi cedera pada Pleksus Brakialis, penting untuk dipahami bahwa cedera yang terjadi pada level prosesus selular (kecuali pada avulsi akar saraf) akan memengaruhi semua bagian dari sistem saraf perifer, termasuk organ target baik sensoris maupun motoris. Respons terhadap cedera tersebut secara simultan dialami baik pada sisi proksimal maupun distal dari level cedera. Distal dari sisi cedera saraf ini terjadi degenerasi Wallerian, yaitu proses disintegrasi *stump* akson yang dimulai setelah 24–48 jam dan berakhir 3–6 minggu. Proses ini diawali dengan adanya granulasi di dalam plasma yang disebabkan oleh proteolisis dari mikrotubula dan neurofilamen. Proteolisis terjadi karena disebabkan oleh aktivasi yang cepat dari enzim proteolisis aksoplasmik sebagai respons dari influks kalsium intraselular. Di antara semua struktur sitoskeletal, mikrotubuli adalah yang pertama mengalami disintegrasi, dan hilangnya struktur mikrotubuli ini akan memengaruhi transportasi aksonal. Disintegrasi neurofilamen akan mengikutinya dan biasanya selesai dalam kurun waktu 7–10 hari.

Untuk menggambarkan proses degenerasi Wallerian secara lengkap, diperlukan peran penting dari sel Schwann dan makrofag,

serta partisipasinya. Sel Schwann akan menjadi sangat peka manakala kehilangan kontak dengan akson. Pada kondisi denervasi, sel Schwann mengalami perubahan fenotip dari “*supportive*” hingga “*reactive*”. Sel Schwann akan berhenti memproduksi mielin.² Keberlangsungan proliferasi sel Schwann akan diikuti dengan pembentukan “*Bands of Bungers*” yang berfungsi sebagai penuntun pertumbuhan kembali akson. Aktivasi sel Schwann diikuti dengan sekresi berbagai substansi imunologis aktif. Pada beberapa hari pertama setelah cedera, akan ditemukan Interleukin (IL)-1B, IL-6, IL-10 dan *Leukemia Inhibitory Factor* (LIF), yang terdeteksi begitu banyak pada sisi cedera. Substansi tersebut bertanggung jawab dalam hal penarikan sel-sel imun ke ujung potongan saraf bagian distal dan berfungsi sebagaimana adanya. Pada dua hari pertama setelah cedera saraf, sel makrofag dan sel T mulai menginfiltrasi sisi cedera dan mencapai infiltrasi terbanyak pada hari ke-4. Sel-sel tersebut bertanggung jawab pada fagositosis debris akson dan residu selaput mielin yang terlepas dari disintegrasi akson, hingga berakhirnya kerusakan dan eliminasi dari akson tersebut.

Potongan proksimal Pleksus Brakialis akan mengalami degenerasi. Konsekuensi segera setelah aksotomi adalah retraksi parsial dari ujung proksimal dan meninggalkan tabung endoneurial kosong yang dibatasi oleh sel Schwann. Ujung potongan proksimal yang mengalami retraksi biasanya sepanjang 1 atau 2 nodus Ranvier, tetapi hal itu bergantung pada keparahan dan karakterisasi cedera. Akson yang mengalami cedera akan menutup aksolema untuk mencegah kebocoran aksoplasma. Segera setelah retraksi dan dalam beberapa jam setelah aksotomi, ujung potongan proksimal mulai memproduksi tunas regenerasi. Tunas regenerasi ini terbentuk dari potongan ujung akson, yang membengkak dan berisi retikulum endoplasma, mitokondria, dan mikrotubuli. Pembengkakan ini berisi akumulasi produk transpor aksonal *anterograde* yang terhenti di ujung potongan akson sisi proksimal. Ada satu kejadian penting yang berlangsung di daerah pembengkakan, yaitu reorganisasi sitoskeleton mikrotubuli. Pada akson normal, mikrotubuli tersebut tersusun secara longitudinal dan semua mengarah ke distal. Setelah aksotomi,

terjadi perubahan susunan mikrotubuli dan arahnya berlawanan satu sama lain.³ Pembengkakan ini sangat mungkin merupakan dasar bagi pembentukan *axonal end bulbs* yang berlangsung dalam kurun waktu 24–48 jam setelah cedera. Hingga saat hubungan antara *axonal end bulbs* dengan *axonal growth cone* belum diketahui secara lengkap, laporan terakhir menyebutkan bahwa bergantung pada lingkungan lokal, maka akson yang cedera dapat membentuk *regenerative growth cones* atau *incompetent endbulbs*.⁴ Keberhasilan dalam pembentukan *axonal growth cone* adalah merupakan tujuan utama dari ujung potongan saraf proksimal, karena ini adalah awal dari regenerasi saraf.

Neuron yang aksonnya mengalami cedera dan diikuti dengan degenerasi Wallerian, telah kehilangan bagian penting dari massa selular. Walaupun diharapkan bahwa akan terjadi pertumbuhan kembali dari bagian yang telah hilang dan pulihnya koneksi fungsional dengan organ target, namun pada kenyataannya situasi tidak selalu tepat. Nampaknya penyembuhan dipengaruhi oleh lokasi lesi terhadap badan sel, tipe neuron, usia fisik, dan ketersediaan faktor tropik lokal. Hal yang paling ekstrem dari aksotomi saraf adalah kematian sel neuron yang cedera. Proporsi kematian sel neuron pada *Dorsal Root Ganglion* (DRG) setelah lesi N. Ischiadicus pada hewan coba *rodent* telah dilaporkan sebanyak 10–30%.^{5,6} Jumlahnya jauh lebih sedikit pada motor neuron, yang mana hampir tidak ada kematian sel sesuai dengan apa yang telah diamati oleh Vanden Noven tahun 1993.⁷ Namun situasinya akan berbeda apabila saraf, dalam hal ini akar saraf ventral (anterior) mengalami avulsi dari korda spinalis, sehingga kematian sel neuron motorik dapat mencapai 80%.^{8,9} Sel Neuron yang bertahan hidup setelah aksotomi, mengalami perubahan morfologis, yaitu kromatolisis yang ditandai dengan adanya pembubaran substansi Nissle.¹⁰ Substansi Nissle adalah sinonim dengan retikulum endoplasma kasar yang berisi mRNA, yang nampak berupa titik-titik kebiruan pada pengecatan *hematoxylin eosin*. Lokasi normal substansi Nissle ada di sentral neuron.

Kromatolisis dimulai dalam hitungan jam setelah cedera dan mencapai puncaknya setelah 1-3 minggu. Proses tersebut dapat memanjang ketika tidak terjadi reinervasi, tetapi hal sebaliknya terjadi saat reinervasi. Kromatolisis tampaknya dapat terus berlangsung baik saat terjadi regenerasi atau bahkan saat mengarah pada kematian sel. Sejauh ini, belum sepenuhnya diketahui apa yang membuat neuron untuk memulai proses kromatolisis. tampaknya sintesis protein regulator lokal pada tingkat akson dan hubungannya dengan *transport motor dynein* merupakan faktor penting untuk memulai proses kromatolisis. Kejadian awal lainnya setelah aksotomi adalah pembengkakan badan neuronal serta pembesaran ukuran nukleolus. Selanjutnya nukleus akan bergeser ke membran sel dan apabila tidak terjadi reinervasi, maka neuron akan mengalami atrofi. Perubahan morfologis penting lainnya saat cedera neuron adalah retraksi dendrit yang akan menurunkan jumlah koneksi sinaptik dari neuron yang cedera. Ada bukti yang menunjukkan bahwa neuron motorik akan membangun kembali dendritnya bila terjadi reinervasi ke otot target. Hal yang sebaliknya terjadi pada aksotomi permanen.

Sel neuron yang bertahan setelah aksotomi akan mengalami pergeseran dari program sinyal *transmitter* ke program regeneratif, yaitu pergeseran dari mode pensinyalan ke mode pertumbuhan.¹¹ Ketahanan sel dan pergeseran mode adalah langkah kritis awal yang dilakukan oleh neuron untuk mengarah ke regenerasi. Pergeseran ini akan membawa perubahan tingkat ekspresi protein ke arah mana protein yang berhubungan dengan persinyalan mengalami penurunan regulasi, sementara protein yang berhubungan dengan pertumbuhan mengalami peningkatan regulasi. Gen yang regulasinya naik, yaitu (1) Faktor transkripsi (c-fos, c-jun, ATF3, NFkB, CREB, STAT); (2) Faktor neurotropik (NGF, BDNF, GDNF, FGF); (3) Reseptor neurotropik (Trk, Ret, P75); (4) Sitokin (TNF α , MCP1); (5) Protein yang berhubungan dengan pertumbuhan (GAP43). Gen yang regulasinya turun, yaitu (1) Neurofilamen, (2) Neurotransmitter, dan (3) Reseptor postsinaptik.

Respons organ target terhadap cedera saraf pada dasarnya merupakan upaya komunikasi. Fungsi saraf perifer hanya dapat

dipenuhi bila ada komunikasi dua arah antara saraf dan organ akhir, yaitu otot untuk saraf motorik dan kulit untuk saraf sensoris. Penting untuk diperhatikan bahwa saraf perifer hanyalah bertindak sebagai perantara dari sistem saraf pusat ke organ perifer. Jadi untuk dapat berfungsi dengan baik, maka saraf perifer harus terhubung dengan organ akhir. Organ akhir tidak hanya harus berfungsi normal, tetapi juga harus secara efektif berkomunikasi dengan saraf perifer. Namun apa yang terjadi setelah cedera saraf perifer adalah terputusnya lintasan komunikasi dua arah. Sebaliknya, apa yang terjadi pada regenerasi saraf merupakan proses untuk mengembalikan komunikasi tersebut.

Reaksi otot terhadap denervasi melalui beberapa tingkatan. Otot yang denervasi mengalami perubahan struktur dan elektrofisiologi serta sifat biokimiawinya. Hal tersebut kemungkinan terjadi karena tidak aktif atau bahkan hilangnya rangsangan *tropic* dari neuron.¹² Perubahan struktur terutama adalah adanya atrofi serabut otot yang disertai dengan berkurangnya berat otot. Penurunan berat otot hingga 30% dari berat otot sebelumnya.¹¹ Dengan mikroskop cahaya akan tampak bahwa serabut otot membentuk titik-titik nukleus yang merupakan rantai dari nukleus dengan sarkoplasma yang sangat kecil di sekitarnya. Pada tingkat ultrastruktur akan terdeteksi miofibril yang terputus dan sarkomer yang mengalami disorganisasi. Pada pemeriksaan elektrofisiologi menunjukkan adanya penurunan *Compound Muscle Action Potential (CMAP)* yang secara normal akan pulih saat terjadi reinervasi. Selama regenerasi, unit motor otot secara bermakna mengalami pembesaran. Hal ini terjadi karena adanya pertumbuhan tunas kolateral, sehingga satu neuron akan menambah jumlah inervasi yang lebih banyak dibandingkan dengan sebelumnya pada *motor end plate*.

Respons dari organ sensoris masih sangat kurang dipelajari dan dimengerti dibandingkan dengan otot. Hasil reinervasi pada organ sensoris kulit bergantung pada sejumlah kecil sel Schwann yang menemukan serabut saraf pada terminal akhir. Denervasi dari organ sensoris akan membuat sel Schwann bertahan manakala masih

adanya struktur kapsular dari organ tersebut yang akan menuntun pertumbuhan kembali akson menuju target yang tepat.¹³

Regenerasi akson setelah cedera saraf tepi merupakan bagian dari proses penyembuhan. Gelombang pertama tunas akson segera tumbuh beberapa jam setelah aksotomi.¹⁴ Akson yang mengalami transeksi akan menghasilkan sejumlah besar tunas kolateral dan terminal yang terus tumbuh dalam tabung endoneurial sejauh tetap kontak dengan sel Schwann. Gelombang pertama tunas akson akan diikuti oleh gelombang kedua setelah hari kedua.¹⁵ Akson akan bercabang saat mencapai potongan distal, yang mana satu akson akan tumbuh beberapa cabang. Regenerasi akson awalnya akan tumbuh pada lingkungan yang berisi sel Schwann dengan lamina basalnya, fibroblas, kolagen, sel imunokompeten, dan debris dari degenerasi akson itu sendiri. Sel Schwann dengan lamina basalnya memainkan peranan penting pada regenerasi saraf. Apabila tidak terdapat sel Schwann pada potongan distal, maka proses regenerasi akan berjalan sangat lambat. Biasanya sel Schwann akan migrasi dari potongan proksimal beserta regenerasi akson yang menyertainya.¹⁶ Apabila migrasi sel Schwann ke potongan distal terhambat (seperti oleh agen sitotoksik), maka akson akan mengalami kegagalan regenerasi.¹⁷ Sel Schwann akan bereaksi saat kehilangan kontak dengan akson melalui proliferasi. Sementara memperbanyak diri, sel Schwann juga melakukan migrasi dan mengarahkan diri sepanjang kolumn longitudinal yang disebut dengan pita dari Bungner.¹⁸ Pita Bungner adalah penuntun pada regenerasi akson. Pada awalnya, akson akan tumbuh melalui zona cedera, dan selanjutnya melalui pita Bungner. Dalam upaya mendapatkan hasil regenerasi seperti pada keadaan sebelum cedera, akson seharusnya tumbuh kembali ke kolumnya sendiri. Namun studi dari tingkah laku awal regenerasi akson tidak menunjukkan hal yang demikian. Akson mengirimkan beberapa tunas regeneratif yang tumbuh ke berbagai arah dan didapati lebih dari 100 yang dapat bertemu dengan pita Bungner.¹⁹ Beberapa akson akan tumbuh melalui pita Bungner, sementara yang lainnya dapat tumbuh secara bebas ke jaringan ikat saraf, atau bahkan

lewat jalur ekstraneural. Proses terakhir disebut misdireksi akson dan akan secara bermakna menghambat proses regenerasi. Dalam situasi demikian, pilihan dari jalur regenerasi akhir hanyalah sebuah kesempatan. Pada situasi dimana serabut motorik tumbuh pada jalur milik neuron sensoris, akan menyebabkan kegagalan pemulihan fungsi.^{20,21} Tampaknya terdapat afinitas istimewa dari motoneuron untuk reinervasi jalur motoris, namun ternyata pada studi terkini melaporkan tidak terdeteksinya perbedaan dari motoris maupun sensoris dalam proses pertumbuhan kembalinya.²² Salah satu upaya untuk mengurangi kemungkinan salah arah pada penyambungan saraf adalah teknik bedah mikro yang secara teliti melakukan anastomosis fasikel saraf hingga dapat mengurangi dampak misdireksi ujung saraf.

2.3 Degenerasi dan Regenerasi Otot yang Mengalami Denervasi Akibat Lesi Pleksus Brakialis

Lesi Pleksus Brakialis sering lambat teridentifikasi, bahkan kadang terabaikan dan tidak mendapat penanganan yang adekuat. Anggapan akan membaik dengan sendirinya atau bahkan akan lumpuh selamanya (*end-state disease*), sehingga pasien lesi Pleksus Brakialis periksa ke rumah sakit dengan kelumpuhan yang menetap, rasa nyeri yang juga menetap, dan tidak berfungsinya anggota gerak tersebut. Hal tersebut akan berdampak pada penurunan kualitas hidup penderita serta dampak negatif lain baik secara psikis, sosial, dan ekonomi.

Latar belakang dilakukannya penelitian oleh Suroto H dan Fathoni M tahun 2016 untuk mengetahui perbedaan komponen otot Brakialis, biceps, dan deltoid sebagai komponen utama penggerak ekstremitas atas pada penderita lesi Pleksus Brakialis dilihat dari waktu kejadian cederanya²³. Penelitian ini dilakukan dengan mengamati dan menghitung jumlah sel Satelit yang merupakan sel progenitor otot pada penderita yang dilakukan tindakan bedah baik prosedur saraf berupa eksplorasi, cangkok, dan transfer saraf maupun prosedur otot, misalnya pemindahan otot untuk memperbaiki fungsi motorik. Penelitian dilakukan pada seluruh pasien lesi Pleksus Brakialis yang

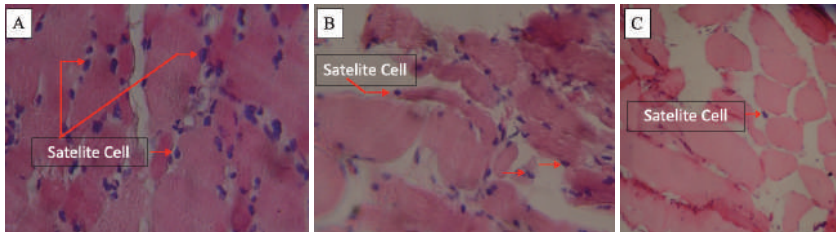
dioperasi di RSUD Dr. Soetomo selama kurun waktu Mei 2013 hingga Desember 2015.²³

Jenis penelitian tersebut yaitu observasional analitik dengan rancangan *cross-sectional*. Peneliti mengevaluasi gambaran mikroskopis dari sampel otot yang diambil dari pasien lesi Pleksus Brakialis yang dilakukan pembedahan pada periode waktu tersebut di atas. Penelitian dilakukan di RSUD Dr. Soetomo Surabaya. Tindakan pembedahan dilakukan di Gedung Bedah Pusat Terpadu RSUD Dr. Soetomo Surabaya pada kurun waktu Mei 2013 hingga Desember 2015. Penelitian tersebut telah mendapatkan laik etik dari Komite Etik Penelitian Kesehatan RSUD Dr. Soetomo dengan nomor surat 647/Panke.KKE/XI/2016.

Bahan spesimen penelitian ini biopsi dari 3 jenis otot (deltoid, biceps, dan brakialis) pada pasien lesi Pleksus Brakialis yang diambil sampelnya saat dilakukan tindakan operasi. Spesimen penelitian kemudian disimpan dengan teknik dan cara penyimpanan khusus, yaitu disimpan dalam botol berisi cairan formalin yang diberi label identitas lengkap pasien dan jenis otot yang diambil, lalu dikelompokkan berdasarkan *onset* waktu kejadian trauma sampai dilakukan operasi. Pemeriksaan spesimen otot yang telah dilakukan pengecatan dengan *Hematoxylin Eosin* (HE) di Laboratorium Mikroskop Elektron Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga Surabaya, kemudian dikumpulkan data untuk selanjutnya dianalisis.

Pada penelitian ini dilakukan pengambilan sampel otot brakialis, biceps, dan deltoid pada 22 penderita dengan lesi Pleksus Brakialis yang dilakukan operasi selama periode Mei 2013 sampai dengan Desember 2015, baik pada prosedur saraf berupa eksternal neurektomi, *nerve grafting*, transfer saraf, prosedur otot, maupun kombinasi prosedur saraf dan otot. Sampel otot penderita kemudian dilakukan pemeriksaan secara mikroskopis untuk melihat gambaran sel Satelit dan dilanjutkan penghitungan jumlah sel satelit secara kuantitatif. Gambaran mikroskopis sel satelit pada otot brakialis, biceps, dan deltoid penderita dengan lesi Pleksus Brakialis yang dilakukan operasi tampak pada Gambar 2.6. Dalam hal ini, otot brakialis dengan onset

kejadian 4 bulan dan otot biceps dengan onset kejadian 9 bulan dan 18 bulan. Gambaran mikroskopis sel Satelit pada otot Biceps penderita lesi Pleksus Brakialis dengan onset kejadian 60 bulan seperti yang tampak pada Gambar 2.7 menunjukkan kelangkaan sel tersebut.

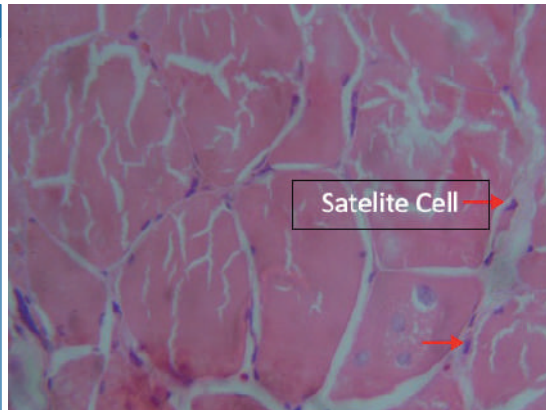


Gambar 2.6

Penampang melintang otot brakialis onset kejadian (A) 4 bulan, (B) otot biceps 9 bulan dan (C) 18 bulan pasca trauma. Sel satelit ditunjuk panah merah (perbesaran 400 x).

Gambar 2.7

Penampang melintang otot biceps 60 bulan pascatrauma. Sel satelit ditunjukkan dengan bulatan biru seperti yang ditunjuk panah merah (perbesaran 400 x).



Setelah dilakukan perhitungan sel satelit secara kuantitatif dari seluruh sampel otot brakialis, biceps, dan deltoid penderita pleksus brakialis yang menjalani operasi dan dikelompokkan sesuai onset kejadian cederanya (dalam hitungan bulan), maka didapatkan data kuantitatif rerata jumlah sel satelit otot brakialis, deltoid, dan biceps sebagaimana yang tersaji dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Rerata Jumlah Sel Satelit pada Penderita Cedera**Pleksus Brakialis**

Sampel	Onset Kejadian (bulan)	Rerata Jumlah Sel Satelit		
		Brakialis	Biceps	Deltoid
1	4	8,00	6,80	7,60
2	4	8,90	8,10	9,20
3	4	0,00	7,80	8,00
4	5	4,80	3,80	4,60
5	5	2,90	5,20	5,30
6	6	3,70	4,90	4,70
7	6	4,30	3,80	4,00
8	7	4,20	4,10	4,40
9	7	4,90	5,10	3,70
10	9	5,30	4,90	4,50
11	9	4,50	4,70	4,80
12	18	1,40	1,60	1,10
13	18	1,80	1,90	1,40
14	24	0,80	1,30	1,60
15	24	1,70	1,60	0,00
16	30	2,80	1,80	2,50
17	30	2,20	2,60	3,00
18	36	0,00	2,20	2,00
19	48	1,90	1,30	1,30
20	48	1,50	1,00	1,50
21	60	0,80	1,00	0,90
22	60	1,10	0,90	1,60
Rerata	21	3,06±2,37	3,47±2,25	3,53±2,46

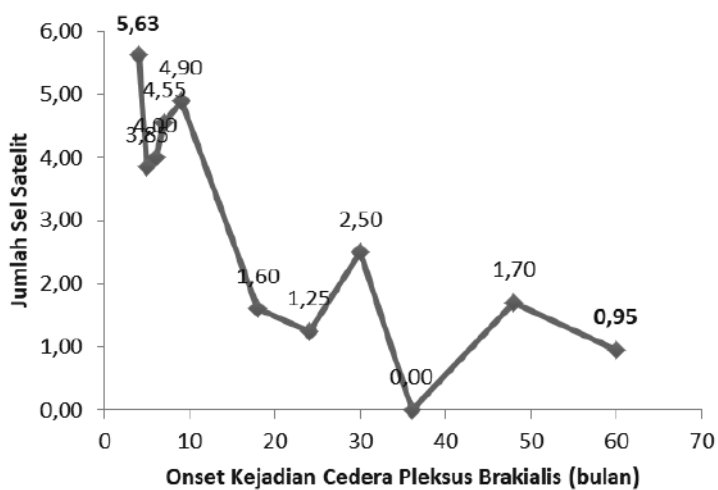
Dari Tabel 2.1, diketahui bahwa onset kejadian cedera tersingkat (dihitung dari waktu kejadian cedera hingga dilakukan operasi) yang ikut serta dalam penelitian ini adalah 4 bulan pascakejadian dengan onset kejadian terlama 60 bulan dengan rerata onset kejadian 21 bulan. Untuk rerata jumlah sel satelit yang dihitung secara mikroskopis dari sampel otot yang diambil, menunjukkan nilai yang bervariasi dengan rerata $3,06 \pm 2,37$ sel; $3,47 \pm 2,25$ sel; dan $3,53 \pm 2,46$ sel berturut-turut untuk otot brakialis, biceps, dan deltoid.

Oleh karena variasi jumlah sel satelit menurut onset kejadian cedera secara tidak langsung berhubungan dengan fungsionalitas otot terkait waktu dilakukannya operasi, maka rerata jumlah sel satelit dikelompokkan masing-masing menurut onset kejadian (dalam satuan bulan) dan ditabulasikan dengan lebih sederhana sebagaimana yang tersaji pada Tabel 2.2 berikut. Dari Tabel 2.2 didapatkan bahwa onset kejadian penderita lesi Pleksus Brakialis yang dioperasi di RSUD Dr. Soetomo dalam kurun waktu Mei 2013–Desember 2015 bervariasi mulai 4 hingga 60 bulan. Penderita yang menjalani operasi paling banyak adalah dengan riwayat onset kejadian 4 bulan (3 orang). Selain itu, dari perhitungan kuantitatif jumlah sel satelit secara mikroskopis didapatkan perbedaan jumlah sel bergantung onset kejadian cederanya, meskipun jumlahnya bervariasi namun terdapat kecenderungan penurunan jumlah sel satelit seiring meningkatnya lama waktu onset kejadian cedera. Kecenderungan penurunan ini tergambar dalam grafik pada Gambar 2.8.

Dari Gambar 2.8 diketahui bahwa dari penelitian ini didapatkan jumlah sel satelit terbanyak untuk otot brakialis adalah pada bulan ke-4 pascacedera dan terkecil pada bulan ke-60 pascacedera. Dari grafik tampak penurunan tajam dari bulan 4 ke bulan 5, mengalami sedikit kenaikan antara bulan ke 6–7 dan mencapai plateu pada bulan ke 18–30. Pada bulan ke-36, dari sampel otot brakialis yang diambil tidak didapatkan gambaran sel Satelit karena kondisi otot mengalami peradangan, sehingga sulit untuk dievaluasi.

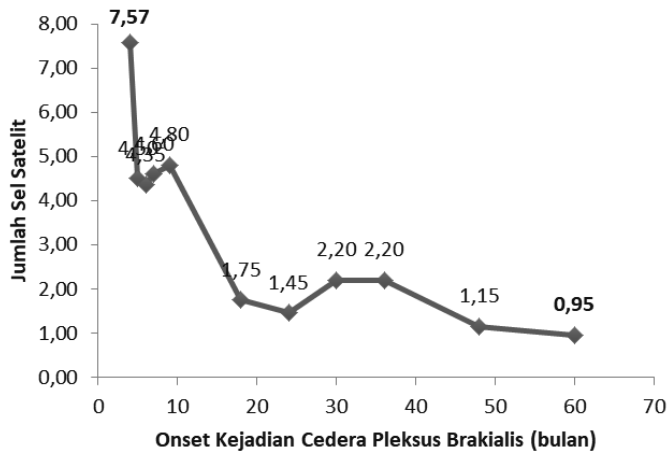
Tabel 2.2 Rerata Jumlah Sel Satelit Menurut Onset Kejadian

Onset	N	Rerata Jumlah Sel Satelit		
		Brakialis	Biceps	Deltoid
4 bulan	3	5,63	7,57	8,27
5 bulan	2	3,85	4,50	4,95
6 bulan	2	4,00	4,35	4,35
7 bulan	2	4,55	4,60	4,05
9 bulan	2	4,90	4,80	4,65
18 bulan	2	1,60	1,75	1,25
24 bulan	2	1,25	1,45	0,80
30 bulan	2	2,50	2,20	2,75
36 bulan	1	0,00	2,20	2,00
48 bulan	2	1,70	1,15	1,40
60 bulan	2	0,95	0,95	1,25



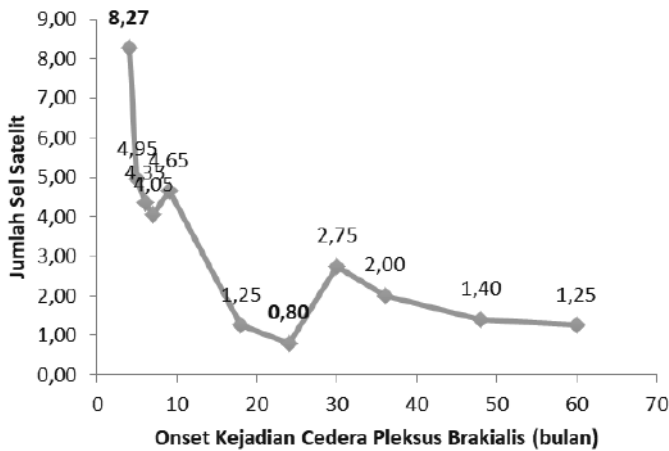
Gambar 2.8

Grafik Jumlah Sel Satelit Otot Brakialis Menurut Onset Kejadian Cedera.



Gambar 2.9

Grafik Jumlah Sel Satelit Otot Biceps Menurut Onset Kejadian Cedera.



Gambar 2.10

Grafik Jumlah Sel Satelit Otot Deltoid Menurut Onset Kejadian Cedera.

Berdasarkan Gambar 2.9, dapat diketahui bahwa dari penelitian ini didapatkan jumlah sel satelit terbanyak untuk otot biceps adalah pada bulan ke-4 pascacedera dan terkecil pada bulan ke-60

pascacedera. Sebagaimana grafik otot brakialis sebelumnya, jumlah sel satelit otot biceps mengalami penurunan curam dari bulan ke-4 menuju bulan ke-5, cenderung plateau setelah bulan ke-6 hingga bulan ke-9, dan selanjutnya mengalami penurunan secara bertahap.

Dari Gambar 2.10 diketahui bahwa dari penelitian ini didapatkan jumlah sel satelit terbanyak untuk otot deltoid adalah pada bulan ke-4 pascacedera dan terkecil pada bulan ke-24 pascacedera. Demikian halnya pada otot deltoid, didapatkan penurunan curam dari bulan ke-4 menuju bulan ke-5, cenderung plateau setelah bulan ke-6 hingga bulan ke-9, dan selanjutnya mengalami penurunan secara bertahap.

Tabel 2.3 Analisis Regresi Linear Hubungan dan Pengaruh Onset Kejadian terhadap Jumlah Sel Satelit Otot

Otot	R	R ²	Sig (p)
Brakialis	0,759	0,576	0,007
Biceps	0,824	0,680	0,002
Deltoid	0,747	0,558	0,008

Dari Tabel 2.3 di atas, dapat diketahui bahwa dari hasil uji statistik menggunakan analisis regresi linear didapatkan bahwa besarnya hubungan atau derajat korelasi antara onset kejadian lesi Pleksus Brakialis dan rerata jumlah sel satelit yang ditemukan pada saat dilakukan operasi pada otot brakialis, otot biceps, dan otot deltoid adalah 0,759; 0,824; dan 0,747 (disimbolkan dengan *R*) yang menandakan bahwa onset kejadian memiliki hubungan yang besar dengan jumlah sel satelit. Selain itu, didapatkan pula koefisien determinasi (*R*²) sebesar 0,576; 0,680; dan 0,558 pada otot brakialis, otot biceps, dan otot deltoid secara berturut-turut, yang berarti bahwa onset kejadian memiliki pengaruh sebesar 57,6% ; 68% ; dan 55,8% terhadap jumlah sel satelit pada otot-otot tersebut, sedangkan sisanya dipengaruhi faktor lain. Besarnya hubungan dan pengaruh onset kejadian cedera terhadap jumlah sel satelit otot-otot tersebut pada penelitian ini bermakna secara statistik ($p < 0,05$).

Aspek yang sangat penting dalam merencanakan operasi pada lesi Pleksus Brakialis adalah pemilihan waktu yang tepat untuk operasi tersebut. Pada salah satu penelitian, ditemukan adanya perbedaan yg sangat signifikan secara statistik mengenai waktu dari trauma hingga dilakukan operasi pada pasien-pasien dengan hasil operasi yang sukses, yaitu rata-rata selama 4,3 bulan setelah terjadinya trauma, dibandingkan dengan pasien-pasien dengan hasil pascaoperasi yang kurang, yaitu rata-rata 6,3 bulan setelah trauma ($p=0,003$).²⁴ Ada juga penelitian lain yang mengatakan bahwa kekuatan otot biseps akan jauh lebih baik secara signifikan pada pasien-pasien yang dioperasi dalam waktu 6 bulan sejak trauma, dibandingkan dengan pasien yang dioperasi 12 bulan setelah trauma ($p<0,05$).²⁵



BAB

Pemeriksaan Klinis Dan Penunjang Lesi Pleksus Brakialis

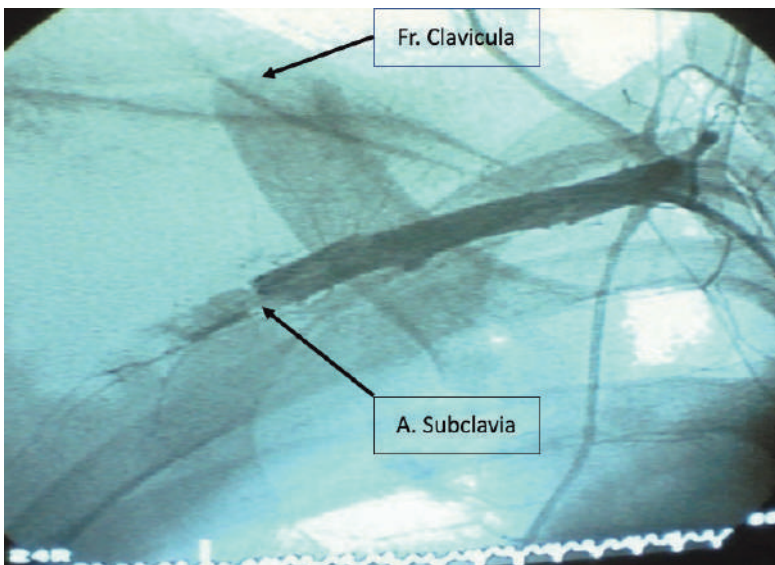
3

3.1 Pemeriksaan Klinis Lesi Pleksus Brakialis

Berdasarkan data dari studi epidemiologis lesi Pleksus Brakialis di RSUD Dr. Soetomo Surabaya, 90% kasus karena kecelakaan sepeda motor. Mekanisme trauma hingga mengakibatkan kerusakan Pleksus Brakialis adalah trauma langsung yang mengenai bahu atau kombinasi antara benturan bahu dan tarikan anggota gerak atas. Evaluasi klinis meliputi anamnesis dan pemeriksaan klinis secara lengkap akan mengungkapkan diagnosis lengkap dengan daftar masalah yang menyertainya.

Pada kondisi akut, pasien biasanya datang dengan riwayat kecelakaan kecepatan tinggi terutama sepeda motor. Konsekuensi dari kecelakaan kecepatan tinggi adalah terjadinya multitrauma dan cedera yang mengenai lebih dari 2 organ tubuh. Mekanisme trauma harus dipahami dengan seksama. Apakah kecelakaan frontal, yang mana pasien saat mengendarai sepeda motor tiba-tiba bertabrakan dengan sesama sepeda motor atau mobil, bus, bahkan truk. Benturan langsung yang mengenai bahu pasien dan diikuti tarikan saat terjatuh,

bahkan sering disertai benturan yang keras pada kepala dan dada. Rangkaian kejadian tersebut sering didapat informasi dari saksi mata, karena pasien akan mengalami cedera otak baik yang ringan, sedang, hingga berat. Pasien akan dibawa ke Instalasi Gawat Darurat dalam keadaan tidak sadar. Pendekatan *Advanced Trauma Life Support* (ATLS) sangat diperlukan dalam penanganan emergensi karena di samping cedera otak biasanya disertai cedera leher maupun thoraks (baik Haemothorax maupun Pneumohemothorax) yang memerlukan prosedur *life support*, yaitu pemasangan *thoraks drain*, atau penyangga leher (*Collar brace*). *Primary survey* pada ATLS merupakan langkah strategis karena secara simultan identifikasi cedera pada jalan napas dan leher, organ pernapasan dan sirkulasi darah akan langsung ditangani.



Gambar 3.1

Lesi Arteri Axillaris dan Fraktur Clavikula yang menyertai lesi Pleksus Brakialis.

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Kecelakaan kecepatan tinggi juga berisiko terjadinya cedera pada bagian tubuh yang jauh dari leher dan bahu. *Primary survey*

yang telah teratasi, tentunya diteruskan dengan *secondary survey* untuk memastikan adanya cedera penyerta dan sekaligus langkah penanganannya. Cedera penyerta yang juga perlu diwaspadai terutama bila didapati fraktur klavikula adalah lesi Arteri Subclavia maupun Arteri Axillaris.

Setelah masa akut terlewati, maka diperlukan ketelitian dalam mengorek keluhan pasien. Setelah kondisi pasien stabil, maka yang sering menjadi keluhan utama adalah kelumpuhan. Kelumpuhan yang dikeluhkan terutama mengenai anggota gerak atas, mulai dari bahu, siku, pergelangan tangan, dan jari-jari tangan. Keluhan penyerta lainnya adalah rasa tebal, kesemutan, dan bahkan nyeri pada anggota gerak atas tersebut. Pada hakikatnya, manifestasi defisit neurologis pada lesi Pleksus Brakialis ini dapat mengenai saraf motorik yang ditandai dengan kelumpuhan, maupun saraf sensorik yang ditandai dengan keluhan rasa tebal dan kesemutan. Derajat keparahan yang melibatkan akar saraf akan terekspresikan dengan gangguan motorik dan sensoriknya. Keluhan dari sudut waktu juga perlu diperhatikan. Apakah dengan berjalannya waktu kelumpuhan tersebut mengalami perbaikan atau masih tetap saja lumpuh? Jika ada perbaikan yang ditandai dengan adanya gerakan, maka otot apa saja yang mulai dapat bergerak dan kapan mulai gerak? Data yang dikumpulkan pada tahap anamnesis ini akan sangat berguna dalam penilaian diagnosis maupun keputusan tindakan operatifnya.

Pemeriksaan fisik dapat dimulai dengan menilai tanda-tanda *Horner Syndrome*, yaitu adakah anhidrosis, yaitu rasa kering dan tidak berkeringat di bagian muka pasien pada sisi yang terkena. Tanda kedua *Horner Syndrome* adalah ptosis, yaitu kelopak mata pada sisi yang terkena cenderung turun dan tidak dapat dibuka secara simetris dengan sisi mata yang normal. Tanda ketiga *Horner Syndrome* adalah enophthalmus, yaitu pergeseran dari bola mata ke posterior karena ptosis. Tanda keempat *Horner Syndrome* adalah miosis, yaitu diameter pupil mata sisi yang terkena lebih kecil dibandingkan dengan mata yang normal.

Gambar 3.2

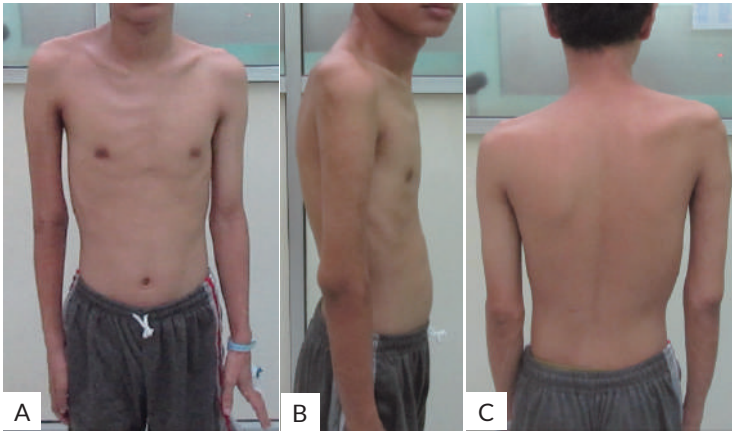
Tanda-tanda *Horner Syndrome* yaitu anhidrosis, ptosis, enophthalmus, dan miosis.

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Pemeriksaan fisik lokal pada anggota gerak atas mulai dengan apa yang dilihat. Tampak depan adanya jejas pada leher, disertai pembengkakan yang merata mulai dari leher hingga bahu (Gambar 3.2). Pada kondisi yang sudah tidak lagi akut akan terlihat adanya atrofi otot Deltoid pada bahu, biceps, dan brakialis pada lengan atas. Tampak belakang adanya atrofi otot Deltoid, Supraspinatus, dan Infraspinatus. Tampak jelas adanya *sulcus sign* disertai dengan adanya subluksasi sendi *gleno humeral*. Jika dicermati dengan lebih teliti, sering didapati adanya atrofi pada otot Latisimus Dorsi dan Triseps. Pada lesi Pleksus Brakialis total, akan terlihat adanya atrofi pada semua otot anggota gerak atas (Gambar 3.3), disertai dengan ketidakseimbangan antara anggota gerak atas kanan dan kiri.

Pemeriksaan perabaan dilakukan untuk menilai sensibilitas. Pemeriksaan sensibilitas terutama dilakukan secara eksteroseptik, yaitu raba halus (*light touch*) dengan menggunakan ujung kapas, rasa nyeri superfisial dengan menggunakan tusuk jarum (*pin prick*), dan diskriminasi dua titik pada jari tangan (*two point discrimination*). Area kulit yang menggambarkan dermatome akar saraf cervical dibandingkan dengan kontraletaral. Hasil pemeriksaan dapat merupakan hipoestesia maupun anestesia. Pada awalnya, ditanyakan kepada pasien area manakah yang mengalami sensasi kulit abnormal, hal ini dapat digunakan sebagai penuntun pada pemeriksaan yang lebih teliti.



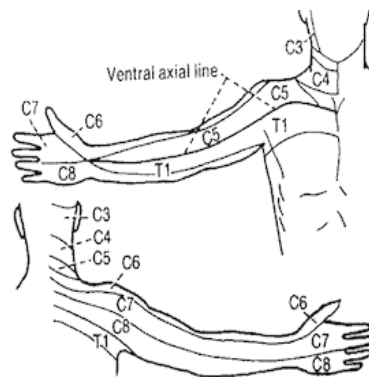
Gambar 3.3

Lesi Pleksus Brakialis total C5-Th1 yang ditandai adanya atrofi pada hampir semua otot anggota gerak atas kanan. (A) tampak depan, (B) samping, dan (C) belakang. (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Raba halus diujikan dengan mengusapkan ke kulit ujung kapas yang halus, diarahkan dari yang tidak sensitif menuju ke arah yang sensitif. Jika area sensoris yang abnormal adalah hipersensitif, maka arah usapannya dibalik yaitu dari area yang sensitif menuju ke area yang hipersensitif. Batas abnormalitasnya ditandai dengan garis lurus (Gambar 3.4). Untuk pengujian nyeri superfisial, dilakukan dengan tusuk jarum. Stimulus diarahkan dari area yang anastesi menuju area yang normal, hasilnya ditandai dengan garis titik titik.

Gambar 3.4

Area dermatom sesuai dengan akar saraf cervical.²⁶



Metode penilaian kekuatan otot dapat dilakukan secara kuantitatif dengan dinamometer atau secara kualitatif dengan *Manual Muscle Testing* (MMT). Uji dinamometrik tidak dapat dilakukan untuk otot yang lumpuh pada kasus lesi saraf perifer. Skala pemeriksaan kekuatan otot direkomendasikan oleh *Medical Research Council* (MRC) dengan gradasi 0–5 (Tabel 3.1). Skala MRC telah sering digunakan dan diterima secara luas. Skala MRC ini tidak memperhitungkan ruang gerak sendi (*range of motion/ROM*) manakala pergerakan dilakukan ataupun kekuatan hambatan perlawanan. Aspek tersebut terutama ditujukan pada skala 3 dan 4. Skala 3 MRC menyatakan bahwa pergerakan aktif melawan gravitasi masih dimungkinkan. Skala 4 MRC menyatakan bahwa pergerakan aktif melawan tahanan masih dimungkinkan. Untuk mengatasi problematika interpretasi, maka MRC merekomendasikan penggunaan plus dan minus pada subdevisi skala 4. Skala 4 dibagi menjadi 3 kategori sesuai dengan resistansi, yaitu (1) ringan, (2) sedang, dan (3) berat.

Tabel 3.1 *Medical Research Council Scale. Aids to Examination of The Peripheral Nervous System*¹

0	No contraction
1	Flicker or trace contraction
2	Active movement, with gravity eliminated
3	Active movement against gravity
4	Active movement against gravity and resistance
5	Normal power

Sementara itu, Paternostro-Sluga T telah melakukan modifikasi MRC dengan memperhitungkan ruang gerak sendi (ROM) manakala pergerakan dilakukan²⁷. Modifikasi ini awalnya dilakukan pada pasien dengan lesi N. Radialis, namun pada aplikasinya dapat diterapkan pada pasien dengan lesi Pleksus Brakialis. Penulisan hasil interpretasinya bukan dengan plus dan minus, namun dengan angka, sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 *Medical Research Council Scale Modified*²⁷

0	No contraction
1	Flicker or trace contraction
2	Active movement, with gravity eliminated
2-3	Active movement against gravity over less than 50% of the feasible ROM
3	Active movement against gravity over more than 50% of the feasible ROM
3-4	Active movement against resistance over less than 50% of the feasible ROM
4	Active movement against resistance over more than 50% of the feasible ROM
4-5	Active movement against strong resistance over the feasible ROM, but distinctly weaker than the contralateral side
5	Normal power

Pada lesi Pleksus Brakialis C5, C6 maka terjadi defisit pada fungsi motorik N. Axillaris dan N. Suprascapularis yang ditandai dengan kelumpuhan abduksi dan fleksi bahu, serta defisit fungsi N. Musculocutaneous yang ditandai dengan kelumpuhan fleksi siku. Sementara itu, defisit fungsi sensoris terjadi pada dermatom C5 dan C6 seperti terlihat pada Gambar 3.4 Pada lesi Pleksus Brakialis C5, C6, dan C7 terjadi defisit fungsi motorik seperti di atas, ditambah dengan defisit fungsi motorik N. Radialis yang ditandai dengan kelumpuhan ekstensi siku, pergelangan tangan, dan jari-jari tangan. Defisit fungsi sensoris terjadi pada dermatom C5, C6, dan C7 (Gambar 3.4).

Pada lesi Pleksus Brakialis C8, Th1 terjadi defisit pada fungsi motorik N. Interosseous Anterior Medianus, N. Thenar Rekurensi Medianus, dan N. Ulnaris yang ditandai dengan kelumpuhan fleksi jari-jari, oposisi ibu jari, dan abduksi-adduksi jari-jari. Defisit fungsi sensoris terjadi pada dermatom C8, Th1 (Gambar 3.4). Pada lesi Pleksus Brakialis total C5–Th1, kelumpuhan total terjadi pada anggota gerak atas disertai defisit sensoris terjadi pada dermatom C5–Th1.

Tabel 3.3 Faktor yang Memengaruhi Prognosis Lesi Pleksus Brakialis²⁸

Faktor	Hasil
Mekanisme Trauma	Cedera energi tinggi mempunyai prognosis lebih buruk Cedera avulsi mempunyai prognosis buruk Cedera vascular mempunyai prognosis lebih buruk
Usia	Usia muda mempunyai prognosis lebih baik
Tipe saraf	Saraf motorik atau sensorik saja lebih baik pemulihan fungsinya Saraf campuran motorik dan sensorik lebih buruk prognosisnya
Level cedera	Lesi supraclavicular lebih buruk dibanding infraclavicular Trunkus superior prognosisnya paling baik
Nyeri	Nyeri yang menetap lebih dari 6 bulan kemungkinan kecil untuk pulih
Waktu operasi	Fibrosis dan degenerasi otot saat intervensi bedah prognosisnya buruk
Faktor lain	Penyakit penyerta seperti infeksi berprognosis buruk

Berdasarkan data identitas pasien dengan usianya, keluhan nyeri, termasuk dengan mekanisme traumanya, maka sudah mulai dapat diprediksi prognosisnya. Data lain yang dapat digunakan untuk prediksi prognosis adalah tipe saraf yang terkena, level cederanya, serta apa yang ditemukan saat eksplorasi selama operasi (Tabel 3.3)

Pemeriksaan klinis, khususnya motorik dengan memeriksa otot-otot mana saja yang masih berkontraksi, akan dapat mencerminkan fungsi gerakan bagian dari ekstremitas superior. Selanjutnya, dapat dipetakan kondisi saraf yang menginervasi dan sekaligus penentuan level cedera dari Pleksus Brakialis tersebut. Pemetaan fungsi otot (*Muscle chart*) baik secara mandiri atau kelompok akan menggambarkan kondisi cabang terminal saraf maupun level lesi Pleksus Brakialis. Sakellariou VI telah secara sederhana meruntut dari saraf hingga fungsinya (Tabel 3.4), sementara BMRC memetakan lebih detail (Gambar 3.5).²⁸

Tabel 3.4 Saraf, Otot, dan Fungsinya²⁸

Saraf	Otot	Fungsi
Dorsal Scapula (C5)	Rhomboid	Stabilisasi Scapula
Long Thoracic (C5)	Serratus Anterior	Abduksi Scapula
Suprascapular (C5)	Supraspinatus Infraspinatus	Abduksi & eksternal rotasi Bahu
Medial (C8) dan Lateral pectoral (C7)	Pectoralis Major Pectoralis Minor	Adduksi Bahu Stabilisasi Scapula
Subscapular (C5)	Subscapular dan Teres Major	Internal rotasi bahu
Thoracodorsal (C7)	Latissimus dorsi	Adduksi Bahu
Musculocutaneous (C5)	Biceps Brachii dan Brakialis	Fleksi Siku
Ulnaris (C8, Th1)	Flexor Carpi Ulnaris Otot intrinsik tangan	Fleksi Pergelangan Tangan dan Jari-jari Abduksi Jari-jari
Medianus (C6,7,8, Th1)	Pronators Antebrachii dan Fleksi Pergelangan Tangan dan Jari-jari	Pronasi Antebrachii dan Fleksi Pergelangan Tangan dan Jari-jari
Radialis (C6,7,8)	Triceps, Supinator, Ekstensor Pergelangan Tangan dan Jari-jari	Supinasi Antebrachii dan Ekstensi Siku, Pergelangan Tangan dan Jari-jari.
Axillaris (C5)	Deltoid dan Teres Minor	Abduksi Bahu

Adanya fraktur processus transversus mengindikasikan kemungkinan adanya avulsi akar saraf pada level yang sama. Pemeriksaan Thoraks AP untuk evaluasi adakah fraktur pada klavikula, Costa 1 dan 2 yang berisiko terhadap struktur jaringan saraf di sekitarnya yaitu Pleksus Brakialis. Adakah didapati fraktur Costa yang *multiple* dan berisiko terhadap saraf Inter Costa (Intercostal Nerve/ICN). Bagaimana dengan gambaran level diafragma kanan dan kiri, apakah sama ataukah lebih tinggi pada salah satu sisi yang menunjukkan adanya lesi N. Phrenicus.

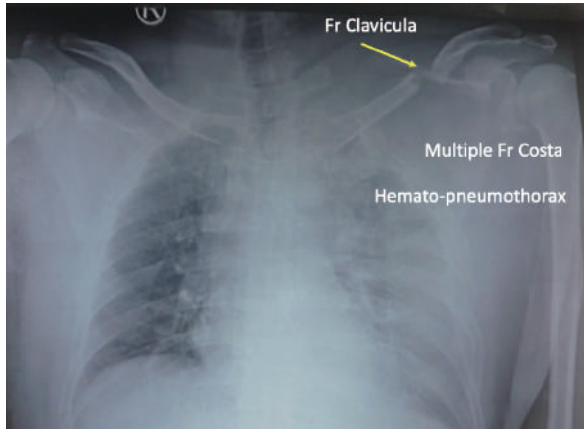
Brachial Plexus		Currently Involved	<input type="checkbox"/> Left (L)	<input type="checkbox"/> Right (R)	<input type="checkbox"/> Both (B)
Tinel's in Neck					
Horner's Sign					
Diaphragm					
EMG					
Pain					
					DATE
					Side involved
					Examiner
		C3, C4, XI			Upper trapezius
		C3, C4, XI			Middle trapezius
		C3, C4, XI			Lower trapezius
		C(3), C(4), C5			Levator scapulae
		C4, C(5)			Rhomboids
		C(5), C6			Supraspinatus
		C(5), C6			Infraspinatus
		C(5), C(6), C(7)			Serratus anterior
		C5, C6			Teres major
		C5, C6			Subscapularis
		C5, C(6), C7			Clav. pect. major
		C6, C(7), C(8), T1			Stern.pect. major
		C6, C7, C8, T1			Pect. minor
		C6, C(7), C8			Latissimus dorsi
		C(5), C6			Biceps & Brachialis
		C5, C6, C7			Coracobrachialis
		C(5), C6			Deltoid anterior
		C(5), C6			Deltoid middle
		C(5), C6			Deltoid posterior
		C5, C6			Teres minor
		C7, C(8), T1			Pronator quadratus
		C(6), C(7)			Pronator teres
		C(6), C(7)			Flex. carpi rad.
		C7, C(8), T1			Flex. dig. prof. II, III
		C7, C(8), T1			Flex. dig. sup.
		C7, C(8), T1			Palmaris longus
		C6, C7, C(8), T1			Flex. pol. long
		C6, C7, C(8), T1			Flex. pol. brev. (long)
		C6, C7, C(8), T1			Abd. pol. brev.
		C(8), T(1)			Opponens pollicis
		C8, T1			Lumbricales, 1, 2
		C6, C(7), C8			Triceps
		C(5), C6			Supinator
		C(5), C6			Brachioradialis
		C(6), C(7)			Ext. carpi rad. long.
		C6, C7, C8			Ext. carpi rad. brev.
		C(7), C8			Ext. carpi ulnaris
		C(7), C8			Ext. dig. com.
		C(7), C8			Ext. dig. minimi
		C(7), C8			Ext. ind. prop.
		C(7), C8			Ext. pol. longus
		C6, C(7)			Ext. pol. brev.
		C6, C(7)			Abd. pol. long.
		C7, C(8), T1			Flex. carpi uln.
		C7, C(8), T1			Flex. dig. prof. IV, V
		C8, T(1)			Abd. dig. minimi
		C(8), T(1)			Add. pol.
		C8, T(1)			Opp. dig. minimi
		C(8), T(1)			1 Dorsal Interosseus
		C(8), T(1)			2 Dorsal Interosseus
		C(8), T(1)			3 Dorsal Interosseus
		C(8), T(1)			4 Dorsal Interosseus
		C8, T1			1 Palmar Interosseus
		C8, T1			2 Palmar Interosseus
		C8, T1			3 Palmar Interosseus
		C8, T1			Lumbricales 3,4
		C8, T(1)			Flex. pol. brev. (short)
		Others			

Grade	Degree of Muscle strength	Descriptive Term
0 = Zero	No palpable contraction	Nothing
1 = Trace	Muscle contracts, but part does not move	Trace
2 = Poor	Partial movement of part with gravity eliminated	With gravity eliminated
2 = Fair	Muscle moves the part through full range of motion against gravity	Against gravity
4 = Good	Full range of motion against gravity plus added resistance	Near normal
5 = Excellent	Normal strength	Normal

Key Note on Legend bar for draw tool
Roots
X = Avulsion
O = Rupture
== = Stretch

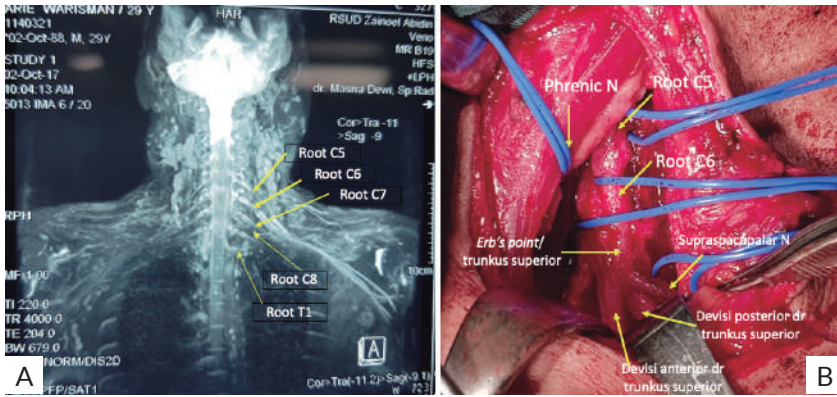
Gambar 3.5

Sistem Gradasi Otot dan Dermatome Menurut British Medical Research Council (BMRC).



Gambar 3.6

Hasil Pemeriksaan Thoraks AP pada Pasien Lesi Pleksus Brakialis Kiri. Didapatkan adanya fraktur klavikula sinistra, fraktur Costa 4,5,6 sinistra, disertai gambaran contusio pulmonum. Tampak level diafragma kiri masih lebih rendah daripada kanan. (Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 3.7

Hasil pemeriksaan MRI Cervical yang dibuktikan dengan eksplorasi langsung saat operasi. (A) Hasil pemeriksaan MRI 3.0-T menunjukkan adanya kontinuitas C5, C6 (B) Identifikasi pada saat eksplorasi Pleksus Brakialis C5, C6 kiri yang secara anatomis utuh namun fibrosis. (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Pencitraan untuk lesi Pleksus Brakialis mengalami kemajuan dari foto *roentgen* polos, *Computerized Tomogram* (CT), hingga CT *Myelography*. Namun sekarang CT *Myelography* secara bertahap digantikan oleh *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) dan bahkan sekarang telah berkembang penggunaan *Magnetic Resonance Neurography* (MRN) yang menggunakan teknis noninvasif untuk menilai baik komponen proksimal dan distal dari Pleksus Brakialis. Perkembangan terakhir penggunaan MRI ini terutama MRI 3.0-T yang dapat menunjukkan gambaran resolusi tinggi 3 Dimensi (3-D) yang memvisualisasikan struktur saraf secara detail (Gambar 3.7). Hal ini menjadi sangat penting pada diagnosis preoperatif sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan tindakan pembedahan.

Elektrodiagnosis lesi Pleksus Brakialis merupakan kelanjutan dari pemeriksaan klinis. Semua pasien harus dilakukan pemeriksaan sensoris maupun motorisnya terlebih dahulu sebelum studi tersebut. Tipe cedera dapat mengarah kepada komponen dan keparahan dari Pleksus Brakialis yang terkena. Durasi cedera sangat perlu dipertimbangkan, karena potensial akar saraf sensorik akan menurun pada hari ke-5 dan mencapai titik terendah pada hari ke-11. Amplitudo motorik akan menurun pada hari ke-3 dan mencapai titik terendah pada hari ke-7.

Oleh karena derajat keparahan lesi dapat ditentukan setelah 7 hari pascatrauma, maka apabila masih ada *amplitude* CMAP dari otot yang secara klinis lemah pada setidaknya 7 hari pascatrauma mengarah pada lesi neuropraxia. *Needle Electro Myo Graph* (EMG) akan terdeteksi abnormal setelah 3 minggu pascatrauma. Uji elektrodiagnosis yang dilakukan adalah konduksi sensorik dan motoris, *needle* EMG, *Somatosensory Evoked Potensial* (SSEP), dan jika diperlukan evaluasi intraoperatif. Semua dilakukan secara serial dan dievaluasi secara kolektif.

Tabel 3.5 Telusur domain otot dari target hingga ke sumber, dari otot yang biasa digunakan untuk *needle* EMG pada lesi Pleksus Brakialis ²⁹

Otot	Saraf	Cordea	Trunkus	Root Predominant
Abductor Pollicis Brevis	Medianus	Medial	Inferior	T1 > C8
Abductor Digiti Minimi	Ulnaris	Medial	Inferior	C8 > T1
First Dorsal Interosseous	Ulnaris	Medial	Inferior	C8T1
Extensor Incidis	Radialis	Posterior	Inferior	C8T1
Extensor Digitorum Communis	Radialis	Posterior	Medius	C78
Brachioradialis	Radialis	Posterior	Superior	C6
Flexor Carpi Radialis	Medianus	Lateral / Medial	Medius / Inferior	C7/8
Biceps	Musculocutaneous	Lateral	Superior	C56
Deltoid	Axillaris	Posterior	Superior	C56
Triceps	Radialis	Posterior	Medius	C7
Latissimus dorsi	Thoracodorsal	Posterior	Medius	C7
Pectoralis Major	Pectoral Lateral & medial	Lateral & medial	Inferior & Superior	C678
Infraspinatus	Suprascapular		Superior	C56
Serratus Anterior	Thoracalis Longus			56
Trapezius	Spinal accessorius			C34

Tabel 3.6 Telusur domain sensoris dari sisi pemeriksaan dengan melakukan studi konduksi saraf sensoris dan frekuensi abnormalitas dari berbagai level pada elemen Pleksus Brakialis ²⁹

Contoh Area	Saraf	Korda (%)	Trunkus (%)	APR (%)
Ibu jari	Medianus	Lateral (100)	Superior (100)	C6 (100)
Jari telunjuk	Medianus	Lateral (100)	Medius (80) Superior (20)	C7 (80) C6 (20)
Jari tengah	Medianus	Lateral (80) Medial (20)	Medius (70) Inferior (20) Superior (10)	C7 (70) C6 (10) C8 (20)
Antebrachii lateral	Lateralis brachial cutaneous	Lateral (100)	Superior (100)	C6 (100)
Dorsal manus	Radialis	Posterior (100)	Superior (80) Medius (20)	C6 (100)
Jari kelingking	Ulnaris	Medial (100)	Inferior (100)	C8 (100)
Antebrachii medial	Medianus brachial cutaneous	Medial (100)	Inferior (100)	T1 (100)

Sensory Nerve Action Potential (SNAP) dicatat dari N. Medianus (Ibu jari, jari telunjuk, dan jari tengah), N. Ulnaris, N. Radialis, N. Cutaneous Antebrachii Lateralis dan Medialis. Amplitudo dari ada tidaknya respons dicatat. SNAP menilai konduksi serabut postganglionik dan cukup sensitif untuk melokalisasi sisi lesi. Bila konduksi masih tetap tidak terpengaruh walaupun secara klinis ada kelumpuhan, maka lesi tersebut adalah preganglionik. SNAP akan lemah bahkan absen pada lesi postganglionik. Pada lesi kombinasi antara pre dan postganglionik, maka abnormalitas motorik akan lebih relevan dibanding dengan hilangnya amplitudo sensorik. Pada amplitudo rendah, SNAP disertai absennya konduksi motorik menyatakan lesi preganglionik lebih mungkin dibandingkan dengan lesi postganglionik. SNAP tidak dapat digunakan untuk prediksi pemulihan pada lesi Pleksus Brakialis. Bila SNAP absen, maka tidak akan pernah kembali normal walau sudah terjadi regenerasi.

Amplitudo dari *Compound Muscle Action Potential* (CMAP) dicatat dari otot yang terkena dan dibandingkan dengan sisi yang normal. Contoh domain motorik adalah Abduktor Pollicis Brevis/Flexor Carpi Radialis untuk N. Medianus, Abduktor Digiti Minimi/Flexor Carpi Ulnaris untuk N. Ulnaris, Extensor Indicis dan Extensor Digitorum Communis untuk N. Radialis, Biceps untuk N. Musculocutaneous, Deltoid untuk N. Axillaris, Trapezius untuk N. Spinal Accessorius. Amplitudo CMAP dicatat dari otot yang mengalami lesi (L) dan dibandingkan dengan otot sisi normal (N), dengan rumus $(N-L)/N \times 100 = \% \text{kehilangan akson}$. N adalah amplitudo CMAP otot normal dan L adalah amplitudo CMAP otot lesi. Sekitar 50–75% menyatakan kehilangan akson sedang, >75% adalah kehilangan akson yang berat, dan absennya CMAP menyatakan tidak ada lagi akson yang *viable* pada saat pemeriksaan dilakukan.

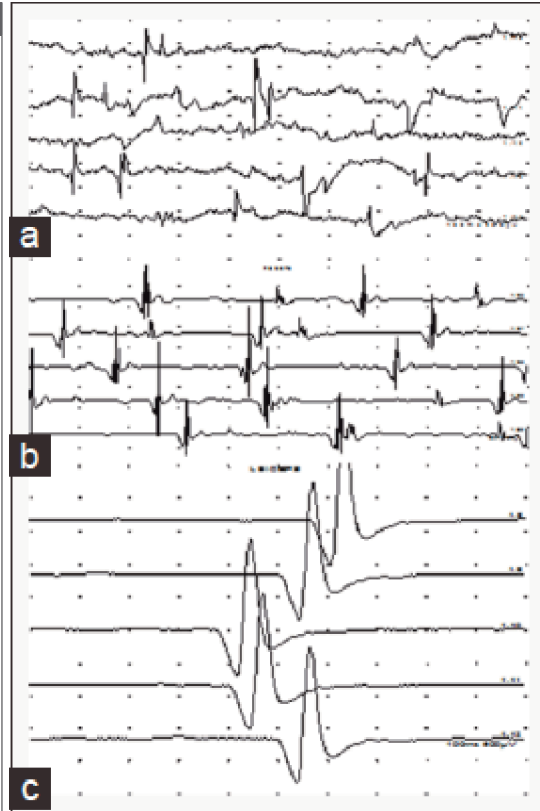
Presensi dan absensi dari CMAP juga menyatakan prognosis. Jika tidak ada respons, maka regenerasi pertumbuhan saraf semestinya terjadi dari proksimal ke distal karena tidak adanya akson yang bertahan untuk reinervasi kolateral. Jika otot yang mengalami denervasi berada lebih dari 60 cm dari sisi lesi saraf, maka pemulihan tidak akan mungkin terjadi karena waktu yang diperlukan oleh regenerasi saraf untuk mencapai otot target perlu sekitar 600 hari. Sementara itu, jaringan otot telah digantikan oleh jaringan fibrous atau lemak. Kecepatan pertumbuhan saraf sekitar 1 mm per hari, sementara itu kerusakan *motor end plate* terjadi pada sekitar 1 tahun 6 bulan.

Pemeriksaan *needle* EMG diperlukan untuk dokumentasi dan pencatatan kehilangan akson, ekstensi dari proksimal, terutama otot proksimal manakala pencatatan CMAP tidak dimungkinkan. *Needle* EMG juga mendokumentasikan tanda awal pemulihan. Kehilangan akson secara objektif dinyatakan oleh adanya potensial fibrilasi yang terjadi sekitar 3 minggu pascatrauma (terutama pada otot yang paling distal). Pada otot yang secara sadar masih aktif, menyatakan akson dan lesiparsial masih bertahan. Pada kasus tersebut, regenerasi akan terjadi melalui tunas (*sprouting*) kolateral. Jika tidak ada lagi

motor unit dan CMAP yang dapat tercatat dari otot, maka hal itu menyatakan lesi fungsional total dan reinervasi hanya dapat terjadi oleh pertumbuhan saraf dari ujung (*stump*) proksimal, asalkan saraf tersebut secara anatomis masih kontinu.

Gambar 3.8

Pemeriksaan *Needle* EMG: (a) Aktivitas spontan, *fibrillation potential* dari denervasi otot saat istirahat, (b) Unit *polyphasic* reinervasi, (c) *Motor unit triphasic* yang lebar dan besar menyatakan reinervasi tidak lengkap (*incomplete*).²⁹



Sesuai dengan waktu ekspektasi dari regenerasi saraf, maka *needle* EMG akan mendeteksinya. Ditandai oleh adanya unit *polyphasic* yang menyatakan terjadinya reinervasi (Gambar 3.8b). *Mature* adalah reinervasi lengkap secara elektrik yang ditunjukkan oleh amplitudo besar dan durasi motor unit yang lama (Gambar 3.8c). Pemeriksaan *needle* juga dapat digunakan untuk melokalisasi sisi lesi karena otot mempunyai domain pada Pleksus Brakialis. Penilaian pada otot yang

diinervasi oleh cabang dari berbagai elemen dari Pleksus Brakialis, akan membantu dalam melokalisasi lesi. Denervasi otot paraspinalis (bila terdeteksi) menunjukkan level lesi preganglionik. Denervasi otot Serratus Anterior, menunjukkan level lesi pada akar C5,6,7. Denervasi otot Infraspinalis menunjukkan level lesi pada trunkus superior dari Pleksus. Namun perlu diingat bahwa N. Suprascapularis cenderung mengalami cedera terutama bila ada jejas ataupun dislokasi sendi bahu. Domain otot tersebut secara akurat dapat digunakan untuk melokalisasi sisi lesi, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.5.³⁰



BAB

Penanganan Komprehensif Lesi Pleksus Brakialis

4

4.1 Penanganan Lesi Pleksus Brakialis

Sekitar 40 tahun lalu, penanganan pada lesi Pleksus Brakialis dianggap sebagai usaha yang sia-sia oleh beberapa pakar di bidang saraf perifer. Bahkan pada masa kini pun masih didapatkan anggapan tersebut. Sebagai ilustrasi yang paling ekstrem, ada penderita yang ditawarkan untuk amputasi karena tidak kunjung ada perbaikan dari kelumpuhan dan bahkan sangat terganggu karena nyeri. Sejauh ini, penanganan pembedahan pada lesi Pleksus Brakialis dengan cangkok saraf autograf belum juga memberikan hasil yang fungsional. Problematika dalam cangkok saraf adalah bagaimana mempertahankan adanya saluran tanpa disertai reaksi benda asing, sehingga akson dapat tumbuh melalui saluran tersebut hingga mencapai saraf di bawahnya.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Ochiai N tahun 1996 telah melakukan *free nerve grafting* dengan donor Nervus Suralis pada lesi Pleksus Brakialis dan mendapatkan pemulihan kekuatan otot lebih dari 3 yang terjadi pada

deltoid sebesar 59,7%; infraspinatus sebesar 47,2%; pectoralis major sebesar 42,9%; biceps sebesar 74,3%; triceps sebesar 38,9%; extensor digitorum communis sebesar 11,8%; flexor digitorum superficialis sebesar 13%; dan flexor pollicis longus sebesar 13%.⁴⁶ Pemulihan terutama terjadi pada fungsi fleksi dan ekstensi siku serta pada otot-otot bahu, namun tidak demikian pada kelompok otot-otot fleksi dan ekstensi lengan bawah dan otot intrinsik tangan.

Cangkok saraf telah menunjukkan bahwa saraf yang dicangkok akan dapat mengonduksi serabut saraf baru melintasi defek. Cangkok saraf *homograft* yang dilakukan pada pasien adalah dengan melakukan transplantasi saraf yang diambil dari donor untuk mengisi defek. Marmor di tahun 1964 mendapatkan bahwa irradiasi pada saraf homograf sebelum implantasi akan sangat menurunkan respons inflamasi dan sekaligus menurunkan terbentuknya jaringan fibrous yang akan menghambat proses regenerasi akson.³¹

Millesi *et al* mendemonstrasikan betapa pentingnya teknik bedah mikro dalam mengarahkan fasikel saraf guna memaksimalkan pemulihan saraf yang fungsional.³² Kinerja regeneratif yang lebih superior dari graf saraf perifer *autologous* menjadikan alasan diterimanya secara luas sebagai “baku emas” pada reparasi saraf perifer.^{33,34} Namun banyak penelitian telah dilakukan untuk menemukan material alternatif dalam upaya mengisi defek saraf yang besar pada cedera saraf perifer. Beberapa alasan yang mendasari pencarian material pengganti seperti tersebut di atas adalah morbiditas yang dapat ditimbulkan dari pengambilan donor saraf, keterbatasan jumlah donor saraf yang dapat digunakan, kenyataan bahwa hanya 40-50% pasien yang menerima cangkok saraf *autologous* menunjukkan hasil yang fungsional.³⁵ Oleh karena cangkok saraf *autologous* hingga saat ini masih diterima sebagai baku emas dalam penanganan cedera saraf perifer, maka diarahkan 2 pilihan eksperimental yang menyokong regenerasi akson yaitu terapi yang dapat meningkatkan manfaat dari penggunaan cangkok saraf perifer dan terapi yang dapat digunakan sebagai pengganti cangkok saraf perifer. Mengenai pilihan pertama dapat berupa penambahan *growth factor*, stimulasi saraf elektrik,

phototherapy, dan latihan *voluntary*. Mengenai pilihan kedua dapat berupa material yang *resorbable* maupun yang *nonresorbable* untuk mengisi defek pada cedera saraf perifer tersebut.

Berdasarkan pengalaman penulis, kasus lesi Pleksus Brakialis yang dilakukan operasi pada Januari 2005-Desember 2009 di RSUD Dr. Soetomo Surabaya, dengan *tindak lanjut* hingga 4 tahun didapatkan hasil fungsional yang baik. Untuk evaluasi nyeri dengan VAS, 14 kasus pascaoperasi Pleksus Brakialis 8 kasus (58%) tidak merasakan nyeri sama sekali dan 6 kasus (42%) didapatkan nyeri yang ringan. Pada pasien lesi Pleksus Brakialis yang telah dilakukan operasi, hampir semuanya dapat memperbaiki fungsi rangsang sensorik (100%). Pada hasil pemeriksaan motorik dan kekuatan motorik postoperatif Pleksus Brakialis didapatkan tujuh pasien dengan kekuatan motorik +3 atau lebih (pasien bisa melakukan abduksi lengan atas dan fleksi sendi siku) dan tujuh pasien dengan kekuatan motorik kurang dari 3 (pasien dapat menggerakkan abduksi lengan atas kurang dari 30, hanya kontraksi otot atau tidak bisa menggerakkan sama sekali).

Beberapa faktor penting berfungsi sebagai panduan dalam menentukan pilihan penanganan untuk rekonstruksi pada lesi Pleksus Brakialis, yaitu (1) mekanisme dan jenis trauma (preganglionik atau postganglionik);, (2) lamanya waktu dari cedera, (3) cedera jaringan lunak, tulang, maupun pembuluh darah yang menyertai, (4) prioritas penanganan.

Mekanisme Trauma

Waktu tindakan operasi terhadap pasien lesi Pleksus Brakialis banyak ditentukan oleh mekanisme trauma. Pada trauma terbuka tajam, merupakan indikasi eksplorasi segera dan dilanjutkan dengan penyambungan primer pada Pleksus Brakialis yang terputus. Pada trauma terbuka tumpul, merupakan indikasi untuk eksplorasi disertai penandaan pada saraf yang mengalami laserasi. Setelah 3–4 minggu, saraf tersebut akan semakin jelas batas demarkasinya, sehingga bisa ditentukan lokasi pencangkakan saraf yaitu pada saraf yang sehat. Pada luka tembak kecepatan rendah, yang mengakibatkan

hanya neuropraxia, maka cukup diobservasi saja. Pada luka tembak kecepatan tinggi merupakan indikasi dilakukannya eksplorasi.

Lamanya Waktu dari Cedera

Penentuan waktu yang optimal untuk pembedahan merupakan hal yang dokmatik karena paralel dengan ketergantungan waktu pada perubahan yang terjadi dalam *motor end plate* yang *irreversible*. Oleh karena itu, semakin lama target otot mengalami denervasi, maka akan semakin kecil kemungkinan keberhasilan reinervasi. Waktu adalah aspek terpenting dalam rencana intervensi bedah pada lesi Pleksus Brakialis. Indikasi untuk eksplorasi akut di antaranya adanya lesi vaskular yang menyertai, luka terbuka yang disebabkan oleh benda tajam, dan luka terbuka yang terkontaminasi. Pada luka kontaminasi, disarankan hanya identifikasi dan tanda ujung saraf untuk reparasi di lain waktu. Jaringan nonvital seharusnya di-*debridement*, stabilisasi patah, dan penyambungan lesi vaskular.

Secara umum, waktu yang optimal untuk intervensi bedah adalah sebelum 6 bulan, namun beberapa ahli bedah melakukan inovasi dari dogma ini dengan eksplorasi dan rekonstruksi bedah dini. Operasi dini tidak memungkinkan waktu yang cukup untuk reinervasi spontan, namun menunggu terlalu lama akan menyebabkan kegagalan yang tidak seharusnya terjadi dari *motor end plate* dan berakibat kegagalan reinervasi. Eksplorasi dan rekonstruksi dini antara 3–6 minggu diindikasikan manakala terdapat kecurigaan yang kuat akan adanya avulsi akar saraf.

Eksplorasi rutin dilakukan 3–6 bulan setelah trauma pada penderita yang tidak menunjukkan reinervasi adekuat. Hasil dari eksplorasi yang tertunda (9–12 bulan) atau lambat (12 bulan) adalah jelek, karena waktu untuk regenerasi saraf hingga mencapai target otot adalah lebih lama dibandingkan dengan waktu dapat bertahannya *motor end plate* setelah denervasi. Pada presentasi yang tertunda, maka dapat terjadi perubahan ireversibel pada sel otot dan tentunya tinggal sedikit harapan untuk kembalinya fungsi motorik. Dalam hal ini, transfer mikrovaskular dari otot normal

dalam kaitannya dengan transfer saraf motorik ekstrapleksal sangat direkomendasikan.

Rekonstruksi saraf tidak direkomendasikan pada penderita lesi Pleksus Brakialis lebih dari 9 bulan pascatrauma. Bentolila V mendapatkan adanya perbedaan yang bermakna pada rerata waktu antara trauma dan pembedahan.²⁴ Penderita dengan hasil fungsional ditangani pada rerata 4,3 bulan pascatrauma dibandingkan dengan penderita dengan hasil yang tidak fungsional pada rerata 6,3 bulan pascatrauma.²⁴ Samii M menunjukkan adanya kekuatan biseps yang lebih baik secara bermakna pada penderita yang ditangani dalam 6 bulan dibandingkan dengan yang lebih dari 12 bulan pascatrauma.²⁵

Tipe lesi Pleksus Brakialis

Kontinuitas akar saraf dengan medulla spinalis adalah penentu utama dalam penanganan lesi ini. Cedera preganglionik menyatakan bahwa koneksi antara akar saraf dengan sistem saraf pusat telah terputus. Sehingga akar saraf yang terkena tidak dapat digunakan sebagai sumber untuk rekonstruksi. Metode rekonstruksi alternatif sangat diperlukan. Cedera postganglionik menyatakan bahwa koneksi dengan sistem saraf pusat masih ada dan saraf masih dapat digunakan sebagai sumber akson. Jika cederanya preganglionik, pilihan rekonstruksinya adalah transfer saraf, otot, tendon, dan arthrodesis. Transfer saraf adalah transfer dari bagian saraf yang masih berfungsi ke saraf yang mengalami denervasi. Transfer saraf dapat memulihkan fungsi pada cedera preganglionik maupun postganglionik manakala waktu yang terlambat atau akson yang masih baik sangat terbatas. Donor saraf ekstrapleksal (saraf di luar Pleksus Brakialis) untuk transfer saraf adalah N. Accesorius Spinalis, N. Intercostal, N. Phrenicus atau N. Cervical 7 kontralateral. Pleksus Cervical dan N Hypoglossal telah digunakan pula, tetapi dengan pemulihan motorik yang jelek. Donor saraf intrapleksal meliputi *fasciculus motoric* dari N. Ulnaris (transfer Oberlin), N. Medianus, atau cabang triseps dari N. Radialis. Hal ini dimungkinkan khususnya pada kondisi lesi parsial Pleksus Brakialis (Avulsi C5, 6). Terdapat beberapa pilihan untuk resipien atau target

saraf, tergantung pada tujuan restorasi seperti fleksi siku, stabilitas bahu, ekstensi dan fleksi pergelangan tangan, fleksi dan ekstensi jari-jari tangan serta sensasi tangan. Jumlah dan jenis fasikulus donor saraf seharusnya sesuai dengan resipien saraf. Transfer saraf dapat juga digunakan untuk inervasi otot yang ditransfer (*free functioning muscle transfer*).

Pada lesi postganglionik, cangkok saraf interposisi dengan menggunakan N. Suralis ataupun saraf kulit lainnya seharusnya dapat dilakukan. Akar saraf dengan akson yang masih baik, dicangkokkan ke target khusus di bawahnya. Cangkok saraf interposisi yang sering dilakukan adalah koaptasi akar saraf C5 ke N. Suprascapularis ataupun N. Axillaris (untuk abduksi bahu), akar saraf C6 ke N. Musculocutaneous (untuk fleksi siku), dan C7 ke N. Radialis (untuk ekstensi siku dan pergelangan tangan). Pada beberapa lesi postganglionik, transfer saraf kadang lebih baik dibandingkan dengan cangkok saraf karena akan mengurangi waktu untuk terjadinya reinervasi. Waktu reinervasi akan lebih cepat karena lebih dekatnya sisi reparasi saraf dengan target otot.

Prioritas penanganan lesi Pleksus Brakialis

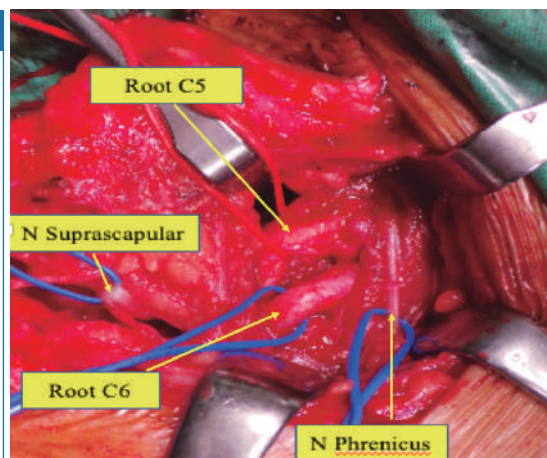
Pemulihan spontan fungsi saraf merupakan penentu dalam merencanakan penanganan cedera Pleksus Brakialis. Jika tidak ada pemulihan dalam kurun waktu 3 minggu, 6 minggu, dan bahkan 3 bulan, maka rencana rekonstruksi sudah harus ditentukan. Bahkan apabila sudah dipastikan adanya cedera avulsi akar saraf, maka perencanaan sudah harus ditentukan lebih awal yaitu 3 minggu. Memang masih ada perdebatan dalam penentuan prioritas penanganan, namun sebagian besar ahli bedah tangan setuju bahwa fleksi siku adalah prioritas fungsi yang harus dicapai. Prioritas selanjutnya adalah abduksi dan rotasi eksternal bahu, sensibilitas tangan, ekstensi dan fleksi pergelangan dan jari-jari tangan, dan akhirnya adalah fungsi intrinsik jari-jari tangan. Alternatif penyederhanaan fungsi ekstremitas atas adalah arthrodesis selektif pada sendi *glenohumeral* dan *scapulothoracic*, sehingga sumber saraf dapat digunakan untuk rekonstruksi fungsi yang lebih penting.

Pemulihan fungsi motorik adalah merupakan prioritas pada rekonstruksi Pleksus Brakialis. Restorasi sensasi protektif adalah hal yang tidak kalah penting untuk fungsi prehensif, pencegahan cedera, dan bahkan modulasi patogenesis pada diferensiasi jalur nyeri. Masing-masing hal tersebut di atas akan dapat meningkatkan kualitas hidup penderita.

Gambar 4.1

Bidang pembedahan *supraclavicular*, teridentifikasi N. Phrenicus, trunkus superior (yang membagi diri ke N. Suprascapular, devisi posterior dan anterior), dan trunkus medius yang merupakan kelanjutan root C7.

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Bidang pembedahan pada Pleksus Brakialis

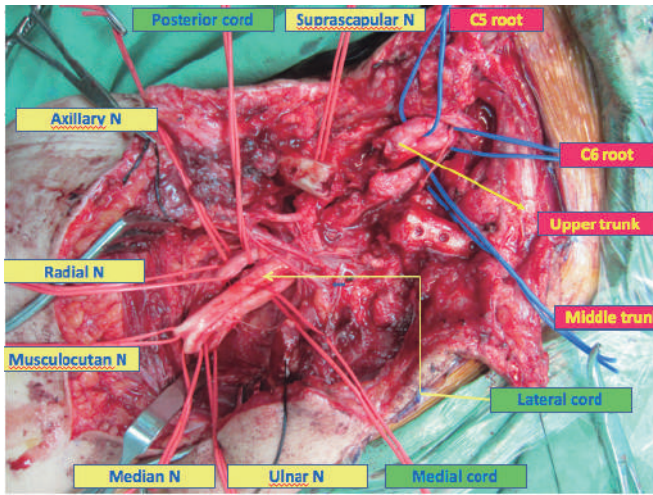
Regio Supraclavicular

Penderita diposisikan terlentang, diganjal bantal kecil pada bahu, leher diekstensikan dan ditolehkan ke sisi sehat. Daerah pinggang, bokong, dan tungkai bawah pada sisi yang sama juga diganjal bantal untuk pemaparan tungkai bawah apabila diperlukan pengambilan graf N. Suralis. *Draping* dilakukan pada daerah leher, bahu, keseluruhan ekstremitas superior, dada, dan tungkai bawah sisi yang sama. Pleksus Brakialis *supraclavicular* dapat dicapai melalui insisi di sepanjang tepi lateral Sterno Cleido Mastoideus (SCM). Pendekatan ini dapat dikombinasikan dengan insisi sepanjang klavikula selebar 1 jari di sisi superior. Untuk alasan kosmetik, pencapaian *supraclavicular* Pleksus Brakialis ini dapat dilakukan hanya dengan insisi transversal sesuai

dengan lipatan kulit pada 1 jari sisi superior dari klavikula. Otot Platisma dipotong dan flap subplatisma diangkat untuk memudahkan pemaparan. Vena Jugularis eksternal diretraksi. Identifikasi tepi lateral otot SCM dan caput klavikular otot tersebut diretraksi ke medial. Bantalan lemak *supraclavicular* didiseksi dan dimobilisasikan ke lateral. Otot Omohyoid diretraksikan ke medio inferior. Saraf dari Pleksus Cervicalis dapat dilihat selama diseksi superfisial dan dari saraf tersebut dapat ditelusuri hingga C3 dan C4. Cabang-cabang saraf ini harus diamankan untuk pencegahan terjadinya pemotongan yang berdampak pada terbentuknya neuroma yang nyeri. Jika terlihat arteri Carotis dan vena Jugularis Interna, maka itu menandakan bahwa diseksinya terlalu ke medial, jangan diteruskan dan kembali diseksi ke sisi lateral.

Nerve Phrenicus dapat diidentifikasi pada permukaan otot Scalenus Anterior dan secara hati-hati dimobilisasi ke arah proksimal. N. Phrenicus berjalan ke inferomedial dan saraf ini biasanya masih berfungsi. Stimulasi elektrik intraoperatif dilakukan untuk memastikan fungsi saraf tersebut. Pada saat penelusuran N. Phrenicus ke proksimal hingga tepi lateral otot Scalenus Anterior, maka akan ditemukan akar saraf (*root*) C5. Sekali teridentifikasi C5, maka sisi kaudal dan dorsal akan ditemukan C6. Akar saraf C5 dan C6 kemudian menyatu membentuk trunkus superior (Gambar 4.1). Trunkus superior ditelusuri ke arah distal dan akan ditemukan N. Suprascapularis serta devisi anterior dan posterior. klavikula dapat dimobilisasi jika memang diperlukan pemaparan retroklavikular dengan memotong dan meretraksikan ke bawah. Pemaparan sisi proksimal dari akar saraf dilakukan dengan memotong otot Scalenus Anterior. Langkah tersebut memungkinkan pemaparan hingga level foramina. Cabang proksimal ke N. Dorsal Scapular (C5 +/- C4) dan N. Thorasik Longus (C5–C7) akan dengan mudah terlihat sebelum melalui otot Scalenus Medius.

Akar saraf C7 dan trunkus medius akan ditemukan pada sisi yang lebih medial dan profundus dari trunkus superior. Arteri Cervicalis Transversalis bila perlu diligasi untuk memungkinkan pemaparan akar saraf C8 dan Th1 serta trunkus inferior.



Gambar 4.2

Bidang Pembedahan *supraclavicular* Ekstensi ke *infraclavicular*. Tali biru menyatakan *root* C5, 6, dan 7. Tali merah menyatakan korda dan cabang terminal dari Pleksus Brakialis. (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Apabila N. Accessorius Spinalis akan digunakan sebagai sumber saraf pada prosedur transfer saraf, maka identifikasi lebih baik dilakukan pada sisi distal. N. Accessorius Spinalis akan dapat ditemukan di sepanjang tepi medial otot Trapezius, di atas klavikula. Segmen yang cukup panjang (hingga beberapa cm dari klavikula) dari saraf ini dapat digunakan, sementara cabang proksimal yang menuju otot Trapezius superior dan medius dipertahankan.

Regio Infraclavicular

Insisi dimulai dari klavikula ke distal melalui interval deltopektoralis. Perlekatan di bagian klavikula dari otot Pectoralis Mayor dan Deltoid dilepaskan untuk memudahkan pemaparan. Vena Cephalica dimobilisasi dan diretraksi ke lateral. Di sisi distal, *infraclavicular* dicapai dengan melepaskan bagian proksimal insersi Pectoralis Mayor. Interval Deltopektoral diperdalam dan akan ditemukan otot Pectoralis Minor yang berorigo di Processus Coracoid. Otot ini diretraksi, namun bila perlu dipotong bagian tendon untuk dijahit kembali saat penutupan

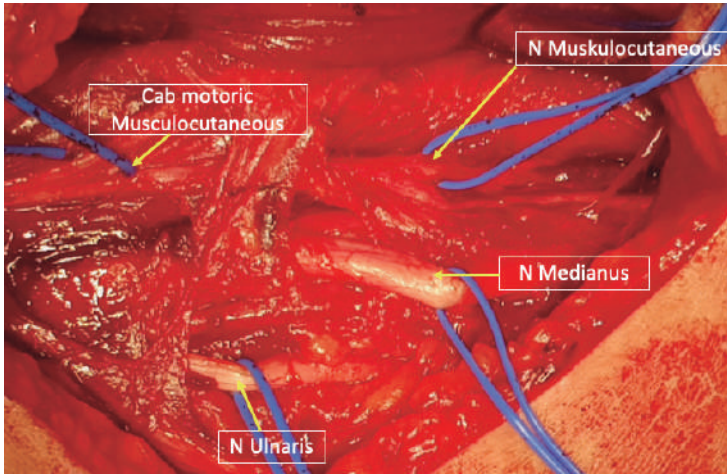
luka operasi. Pleksus Brakialis *infraclavicular* akan ditemukan tepat di bawah bantalan lemak. Korda lateral akan pertama teridentifikasi dan terus ditelusuri untuk mendapatkan N. Musculocutaneus serta kontribusi lateral ke N. Medianus (Gambar 4.2).

Arteri Axillaris dimobilisasi dan dilindungi. Beberapa cabang kecil jika perlu diligasi, namun cabang Thoracoacromialis harus dipertahankan untuk digunakan sebagai sumber arteri saat prosedur *free functioning muscle transfer* (FFMT). Vena Axillaris terbentang lebih ke medial. Korda posterior dan cabang terminalnya yaitu N. Axillaris dan N. Radialis dapat diidentifikasi di sisi profundus dari korda lateral, N. musculocutaneus dan cabang ke otot Coraco brakialis telah di neurolisis dan arterinya telah dimobilisasi. Retraksi otot Coraco brakialis akan memperjelas pemaparan terhadap N. Axillaris.

Korda medialis dapat diidentifikasi di medial dari arteri Axillaris, selanjutnya cabang terminalnya yaitu N. Medialis dan N. Ulnaris dapat pula ditemukan dengan mudah. Bentuk M yang dibentuk oleh cabang terminal dari korda lateralis dan medialis, akan terikat secara keseluruhan. N. Medialis ditemukan tepat di bawah level prosesus coracoid.

Paparan Medial Regio Humerus

Beberapa cabang terminal dapat diidentifikasi secara cepat dengan insisi longitudinal pada humerus medial proksimal. Langkah ini sangat berguna terutama saat melakukan transfer saraf seperti transfer Oberlin. N. Cutaneous antebrachii medialis, N. Medialis, dan N. Ulnaris dapat diidentifikasi dalam jarak dekat satu sama lain di sekitar arteri brakialis. N. Musculocutaneus dapat ditemukan di antara otot Biceps dan otot Coraco brakialis. Cabang motoriknya ke otot biceps dan brakialis serta N. Cutaneous Antebrachii lateralis dapat diisolasi (Gambar 4.3).



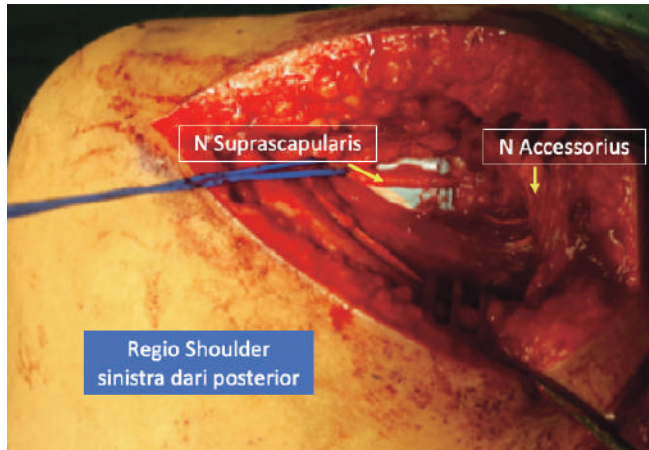
Gambar 4.3

Regio Humerus, terlihat N. Musculocutaneus dengan percabangannya ke Biceps, Brakialis, dan Cutaneus Antebrachii lateralis. Juga terlihat N. Medianus dan N. Ulnaris. (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Pendekatan posterior untuk N. Suprascapularis

N. Suprascapularis dapat ditemukan melalui pendekatan posterior, terutama bila sisi lesi diduga terjadi pada beberapa tempat (*double crushing*). Pemaparan ini dapat dilakukan dengan posisi penderita semilateral decubitus sebagai bagian pemaparan anterior Pleksus Brakialis atau bahkan posisi pronasi (tengkurap) bila digunakan untuk eksplorasi dan tindakan hanya posterior saja. Insisi dibuat 1 cm di atas spina Scapula sepanjang 6–8 cm. Batas insisi posterior adalah pada sudut medio superior Scapula. Otot Trapezius dipisahkan secara longitudinal pada perlekatannya dengan spina Scapula yang selanjutnya akan tampak otot Supraspinatus. Otot Supraspinatus yang atrofi diretraksikan ke inferior dan akan tampak melintas ligament transversalis Scapula. Ligamen ini dipotong dan dengan mudah N. Suprascapularis yang melintas di Scapular *notch* akan terlihat. N. Supraspinatus diisolasi dan dibebaskan seproksimal

mungkin, untuk selanjutnya dipotong. Ujung potongan distal N. Suprascapularis dimobilisasi ke arah medial untuk disambungkan dengan N. Accessorius (Gambar 4.4).



Gambar 4.4

Pendekatan posterior untuk N. Suprascapularis yang dineurotisasi dari N. Accessorius.

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Pendekatan Posterior N. Axillaris dan N. Radialis

Pendekatan posterior dilakukan terutama pada transfer saraf cabang motorik Triseps ke cabang anterior N. Axillaris. Posisi penderita adalah lateral decubitus. Insisi longitudinal dibuat sepanjang permukaan posterior dari proksimal humerus hingga tepi lateral Scapula. Otot Deltoid diretraksikan ke anterior. Insisi diperdalam pada interval antara Triseps kaput longus dan kaput lateral. N. Cutaneous Brakhii lateral superior yang ada di superfisial dapat digunakan sebagai penuntun menuju N. Axillaris. N. Axillaris dan cabang-cabangnya serta arteri Circumflexa Humerus Posterior dapat ditemukan di sisi superior dari otot Teres Mayor, yaitu *Quadrangular Space*. N. Radialis dan cabang-cabangnya serta arteri Brakhii Profundus dapat terlihat di sisi inferior otot Teres Mayor.

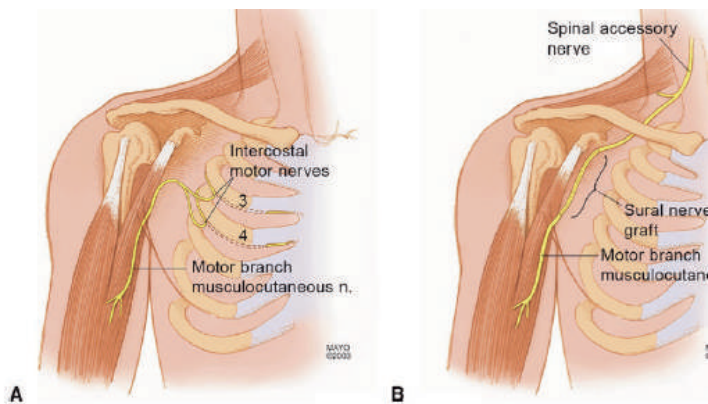
Rekonstruksi untuk pemulihan fungsi fleksi siku

Fleksi siku menjadi prioritas utama dalam rekonstruksi lesi Pleksus Brakialis. Ada beberapa pilihan untuk mencapai fungsi ini dan pilihan pembedahan itu tergantung pada, (1) ketersediaan sumber saraf; (2) target otot lainnya untuk rekonstruksi; (3) fungsionalisasi otot yang masih ada; dan (4) cedera penyerta.

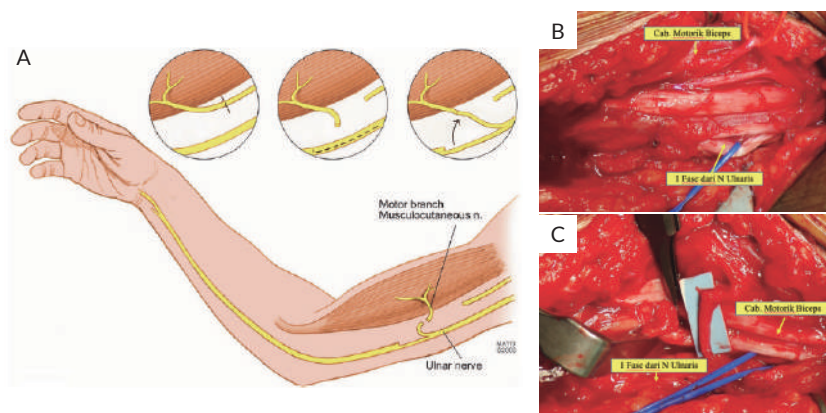
Transfer saraf untuk fleksi siku dapat dilakukan dengan menggunakan N. Intercostal atau N. Acessorius Spinalis (Gambar 4.5). Pada prosedur transfer saraf dari N. Acessorius Spinalis masih memerlukan interposisi graf dari N. Suralis. Target saraf dapat menuju ke N. Muskulocutaneous atau langsung ke cabang motorik otot Biseps. N. Muskulocutaneous terdiri atas serabut motorik untuk otot Biseps Brakhii dan Brakialis, maupun serabut sensoris ke N. Cutaneous Antebrakhii Lateralis. Pada transfer saraf ke N. Muskulocutaneous beberapa akson motorik akan hilang pada jaras sensoris, oleh karena itu direkomendasikan pada transfer saraf ini langsung menuju ke cabang motorik otot Biseps.

Dari studi literatur, didapatkan bahwa 65%-72% penderita dapat mencapai pemulihan otot Biseps \geq M3, setelah transfer saraf Intercostal ke N. Muskulocutaneous.^{36,37} Transfer saraf N. Acessorius Spinalis ke N. Muskulocutaneous menghasilkan 77% penderita \geq M3, dan 29% penderita mencapai \geq M4.³⁶ Pada cedera Avulsi trunkus superior (C5-6), fleksi siku dapat dipulihkan dengan transfer dari 1 fasikel saraf motorik N. Ulnaris ke cabang motorik otot Biseps.⁷⁷ Hasil yang didapat adalah 85% penderita mencapai \geq M3 dan bahkan yang terbaru 94% penderita mencapai \geq M4. Mackinnon pada tahun 2005 melaporkan penderita dapat mencapai \geq M4 kekuatan fleksi siku setelah dilakukan transfer kasikel motorik dari N. Ulnaris dan N. Medianus ke Biseps dan Brakialis.³⁹ Waktu reinervasi yang dibutuhkan adalah 5,5 bulan setelah pembedahan.

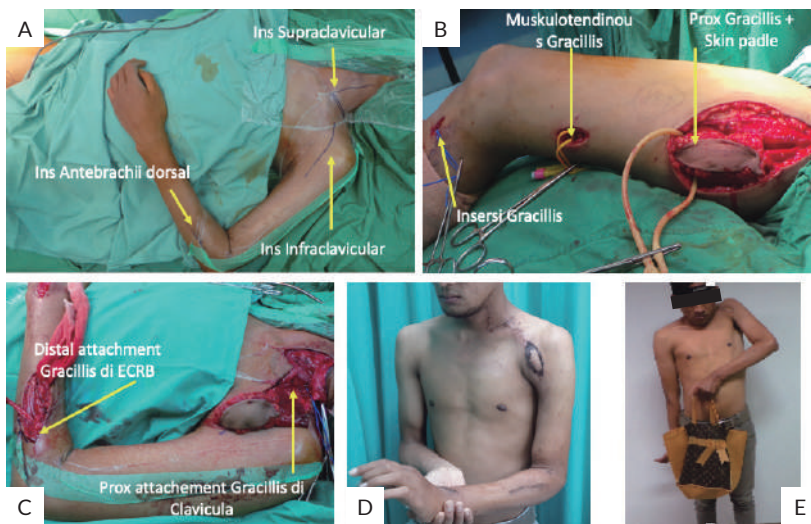
Apabila lamanya cedera hingga waktu pembedahan itu lebih dari 9-12 bulan, maka direkomendasikan *Free Functioning Muscle Transfer* (FFMT) yang dilakukan dengan transfer saraf motorik



Gambar 4.5 Transfer Saraf Untuk Rekonstruksi Fleksi Siku. (A) sumber saraf donor dari N. Intercostae 3 dan 4 untuk ditransferkan ke N. Musculocutaneous, (B) sumber saraf dari N. Accessorius Spinalis yang ditransferkan ke N. Musculocutaneous.³⁸



Gambar 4.6 Transfer saraf dari 1 fasikel N. Ulnaris ke cabang motorik Biseps N. Musculocutaneous. (A) Secara skematis³⁸, dan (B&C) secara klinis. (Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4.7

Free Functioning Muscle Transfer dengan Donor dari Otot Gracillis. (A) Posisi pasien supinasi dan (B) pengambilan otot Gracillis melalui 3 insisi. Sisi proksimal dilekatkan pada klavikula dan distal pada tendon biceps. (C) Revaskularisasi dengan A Thorakoacromialis, dan reinervasi dengan N. Phrenikus. (D) Evaluasi 1 bulan pascaoperasi dan (E) hasil fungsional fleksi siku dengan kekuatan M4. (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

ekstrapleksal untuk mengembalikan fungsi siku. Beberapa otot yang dapat digunakan dalam FFMT adalah otot Gracilis (devisi anterior N. Obturator), otot Latisimus Dorsi (N. Thoracodorsal), dan otot Rectus Femuris (N. Femoralis). Otot Gracilis adalah yang paling sering digunakan karena pedikel neurovaskularnya ada di bagian proksimal (yang memungkinkan reinervasi lebih dini) dan tendonnya yang panjang (yang memungkinkan untuk rekonstruksi fleksi siku, ekstensi pergelangan tangan, atau fleksi jari-jari tangan). FFMT dapat dipersarafi baik oleh 2 N. Intercostal, N. Accessorius Spinalis, dan N. Phrenicus. Pada bagian proksimal otot Gracilis dapat dijahitkan ke tulang klavikula dan bagian distal dianyamkan ke tendon Biceps. Bagian distal tendon otot Gracillis ini dapat lebih jauh dilekatkan

pada bagian tendon Extensor Carpi Radialis Brevis (ECRB) untuk mendapatkan ekstensi pergelangan tangan sekaligus fleksi siku seperti tampak pada Gambar 4.7. Sekitar 79% FFMT Gracilis dapat mencapai minimal kekuatan M4 untuk fleksi siku.⁴⁰

Pada cedera parsial Pleksus Brakialis, fleksi siku dapat direkonstruksi dengan transfer otot lokal seperti M. Pectoralis Mayor, M. Pectoralis Minor, M. Trisepts, dan M. Latissimus Dorsi. Hasil transfer otot lokal untuk fleksi siku secara langsung berkaitan dengan kekuatan otot donor yang sering mengalami penurunan kekuatan. Di sisi lain, beberapa otot lokal tersebut sangat berperan dalam stabilitas bahu, sehingga penggunaannya akan memengaruhi fungsi ekstremitas atas secara keseluruhan.

Rekonstruksi saraf untuk fungsi bahu

Transfer saraf untuk abduksi dan rotasi eksternal bahu dapat dilakukan dengan transfer saraf dari N. Accessorius Spinalis ke N. Suprascapularis. Topografi perjalanan N. Accessorius Spinalis yang dekat dengan N. Suprascapularis memungkinkan koaptasi langsung tanpa graf interposisi. Transfer saraf untuk rekonstruksi bahu akan lebih efektif apabila dilakukan tanpa graft interposisi.³⁶

Songcharoen (2005) mendapatkan pemulihan motorik ($M \geq 3$) dengan abduksi bahu 60° dan fleksi bahu 45° pada 577 penderita dengan transfer saraf N. Accessorius Spinalis ke N. Suprascapularis.³⁷ Pada penderita cedera trunkus superior (avulsi C5-6), abduksi bahu dapat dipulihkan dengan transfer saraf dari cabang motorik Trisepts kaput longum ke cabang anterior N. Axillaris, seperti yang dipopulerkan oleh Leechavengvongs di tahun 2003.⁴¹ Hasilnya adalah sangat baik pada 5 dari 7 kasus, dengan rata-rata abduksi bahu 124° pada evaluasi 28 bulan pascaoperasi.

Beberapa kontroversi seputar penggunaan N. Accessorius Spinalis yang akan mengakibatkan kelumpuhan otot utama artikulasi *scapulothoracic* yaitu otot Trapezius. Shin (2009) mendapatkan hanya 27% rotasi ekstrenal pada transfer saraf dari N. Accessorius Spinalis ke N. Suprascapularis pada penderita dewasa lesi Pleksus

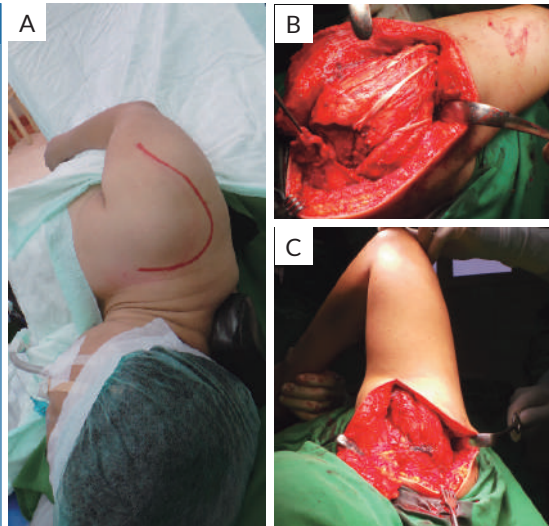
Brakialis komplit.⁴² Jika transfer saraf ini gagal, maka pilihan untuk rekonstruksi bahu dengan arthrodesis dan tendon transfer menjadi sangat terbatas. Oleh karena itu, disarankan untuk mempertahankan N. Accessorius Spinalis, sehingga otot Trapezius dapat digunakan untuk rekonstruksi bahu sekunder. Seandainya N. Accessorius Spinalis akan digunakan sebagai sumber saraf pada transfer saraf, maka direkomendasikan untuk pengambilan cabang sedistal mungkin dari saraf ini. Pengambilan dengan cara tersebut akan dapat mencegah terjadinya kelumpuhan pada otot Trapezius.

Sumber saraf lain yang dapat digunakan pada transfer saraf N. Suprascapularis adalah N. Intercostal, N. Phrenicus, N. Pectoralis Medialis, dan Hemicentralateral C7. Sementara itu, target saraf yang perlu dipertimbangkan guna pemulihan fungsi bahu adalah N. Thorakalis Longus. Suzuki (2007) menunjukkan pentingnya N. Thorakalis Longus untuk abduksi dan fleksi bahu karena ruang gerak abduksi aktif bahu pada transfer saraf N. Accessorius Spinalis ke N. Suprascapularis akan berkurang satu tingkat apabila tanpa kontraksi otot Serratus Anterior.⁴³ Otot Serratus Anterior tidak hanya bekerja untuk menggerakkan sendi Scapulothoracic, tetapi juga sebagai stabilisasi Scapula. Otot Serratus anterior diinervasi oleh N. Thorasik Longus yang berasal dari akar saraf C5–C7. Pada cedera preganglionik Pleksus Brakialis C5–C7, otot Serratus Anterior akan mengalami paralisa total. Penanganan pada tipe cedera tersebut akan memulihkan abduksi bahu secara lebih baik apabila dikombinasikan dengan transfer saraf ke N. Thorasik Longus. Di sisi lain, pada cedera preganglionik C5–C6, bagian bawah otot Serratus Anterior masih dapat bekerja. Sehingga penanganan pada tipe cedera C5–C6 preganglionik, hanya dengan transfer saraf ke N. Suprascapularis akan memberikan hasil yang baik pada abduksi bahu.

Pada kasus yang datang terlambat sehingga tidak mungkin lagi dilakukan prosedur saraf, maka pemulihan fungsi sendi bahu dapat dilakukan dengan *trapeziusplasty*. *Trapeziusplasty* dapat dilakukan dengan tendon transfer yang disertai dengan tendon *grafting*, seperti tampak pada Gambar 4.8.

Gambar 4.8

Trapeziusplasty dilakukan dengan pelepasan insersi otot Trapezius yang diikuti dengan tendon *grafting* ke insersi otot Deltoid. (A) Posisi pasien lateral decubitus kanan atas, (B) Pelepasan insersi otot Trapezius, (C) *Graft* tendon ditambahkan untuk menghubungkan otot Trapezius dengan insersi otot Deltoid. (Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Rekonstruksi saraf untuk fungsi tangan

Rekonstruksi fungsi tangan memerlukan pemulihan fungsi menggenggam dan melepaskan. Fungsi otot intrinsik untuk pergerakan jari-jari tangan tidak dapat dipulihkan hanya dengan transfer saraf. Masalah tersebut dapat diatasi dengan *Free Functioning Muscle Transfer* (FFMT) baik tunggal maupun ganda dari otot Gracilis.

Doi di tahun 2008 mendeskripsikan transfer Gracilis ganda untuk memberikan stabilitas dan fungsi bahu yang dikombinasikan dengan fleksi-ekstensi siku, sensibilitas tangan dan fungsi tangan yang menggenggam dan melepas.⁴⁴ Pada FFMT yang pertama, otot Gracilis diinervasi oleh N. Accessorius Spinalis dan anastomosis dengan arteri Thoracoacromial untuk menghasilkan gerakan fleksi siku dan ekstensi pergelangan tangan. Bagian proksimal otot Gracilis dijahitkan ke tulang klavikula, sementara bagian distal di bawah otot Brakhioradialis menuju pergelangan tangan sisi radial dan dijahitkan ke tendon ekstensor jari-jari tangan. FFMT yang kedua, otot Gracilis diinervasi oleh N. Intercostal dan anastomosis dengan arteri Thoracodorsalis untuk menghasilkan fleksi jari-jari. N. Intercostal sensoris ditransfer ke N. Medianus untuk sensasi tangan. Bagian

proksimal otot Gracilis dijahitkan ke tulang costa kedua, sementara bagian distal diarahkan secara subkutan sepanjang sisi medial lengan atas dan dijahitkan ke tendon fleksor jari-jari tangan seperti tampak pada Gambar 4.9.

Gambar 4.9

Skema operasi FFMT untuk memulihkan fleksi siku dan fleksi jari-jari tangan.⁴⁴



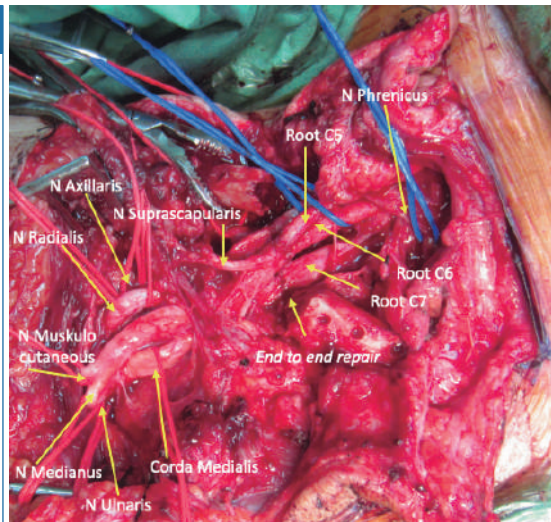
FFMT tunggal dari Gracilis dapat dilakukan untuk memulihkan fleksi siku dan fleksi jari-jari tangan. Otot Gracilis di bagian proksimal dijahitkan ke tulang klavikula dengan beberapa jahitan *anchoring*, sementara bagian distal diarahkan ke lengan bawah melewati sisi profundus lacertus fibrosus untuk memberikan efek *pulley*. Anastomosis vaskular dilakukan secara *end to end* dengan arteri dan vena Thoracoacromial. Otot tersebut diinervasi oleh dua cabang motorik N. Intercostal. Bagian distal tendon Gracilis dijahitkan ke tendon *Fleksor Digitorum Profundus* (FDP) dengan teknik jahitan Pulvertaff. Pengaturan ketegangan dilakukan dengan melihat posisi jari-jari tangan menutup saat ekstensi siku. Cabang sensoris N. Intercostal ditransfer ke korda lateral N. Medianus untuk memberikan sensasi protektif pada tangan, dan dua cabang motorik N. Intercostal ditransfer ke cabang motorik otot Biseps. Selanjutnya, N. Accessorius Spinalis ditransfer ke cabang motorik Triseps melalui graf interposisi saraf Suralis. Pergelangan tangan distabilisasi dengan arthrodesis untuk meningkatkan fungsi tangan menggenggam. Arthrodesis dapat

dikerjakan bersamaan dengan FFMT atau dilakukan pada tahapan berikutnya. Sebagai hasil akhir adalah stabilisasi dan keseimbangan sendi bahu, siku, pergelangan tangan yang sangat penting dalam meningkatkan fungsi prehensif tangan.

Rekonstruksi saraf pada penanganan lesi Pleksus Brakialis secara tradisional adalah eksplorasi dan cangkok saraf autologous (*nerve grafting*). Pengenalan dengan prosedur transfer saraf ke dalam armamentarium bedah telah meningkatkan hasil secara substansial. Dengan mengadopsi strategi ini, maka kombinasi transfer saraf dengan cangkok saraf akan memberikan hasil yang lebih optimal. Kombinasi tersebut akan menghasilkan reinervasi dari otot agonis sekunder dan antagonis sekaligus sehingga fungsi yang dapat dicapai akan maksimal. Pada kondisi tertentu terutama pada luka tajam, lesi Pleksus Brakialis dapat dilakukan penjahitan primer tanpa memerlukan cangkok saraf maupun transfer saraf seperti terlihat pada Gambar 4.10.

Gambar 4.10

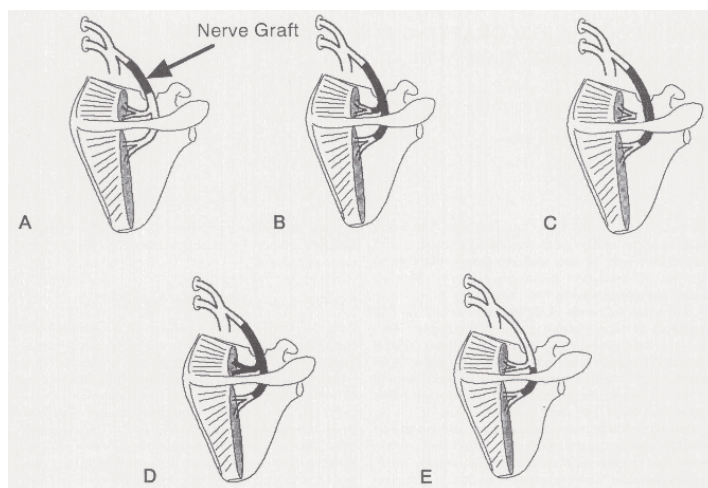
Lesi Pleksus Brakialis kanan pada daerah trunkus di retroklavikular yang dapat dijahit primer tanpa graf. (Sumber: Dokumentasi Pribadi)



4.2 Cangkok saraf (*nerve grafting*) pada lesi Pleksus Brakialis

Hanya ada sedikit literatur yang melaporkan cangkok saraf pada lesi Pleksus Brakialis ini. Mikami pada tahun 1997 melaporkan 33 penderita

yang dilakukan cangkok saraf pada N. Axillaris dan N. Suprascapularis dengan interval waktu tiga bulan antara cedera dan pembedahan.⁴⁵ Hasil yang didapat dengan waktu tindak lanjut selama 27 bulan adalah kekuatan motorik 3 pada 23 dari 30 penderita (77%) pada otot deltoid dan 18 dari 25 penderita (72%) pada otot infraspinatus. Elevasi bahu dapat mencapai 120° pada 27 penderita (82%) dengan eksternal rotasi 30° pada 27 penderita (82%). Sebanyak 26 penderita (79%) tangannya dapat mencapai kepala.



Gambar 4.11

Pola cangkok saraf N. Suprascapularis.⁴⁵

Teknik bedah cangkok saraf N. Axillaris dan N. Suprascapularis dengan memposisikan penderita secara lateral decubitus (miring). Insisi deltopectoral dan osteotomi processus Coracoid untuk memaparkan N. Axillaris dari korda posterior hingga quadrilateral. Bagian selanjutnya dari N. Axillaris dieksplorasi melalui insisi posterior. N. Suprascapularis dicari dari atas dengan melepaskan otot Trapezius dari spina Scapula, Acromiion, klavikula, dan otot Deltoid posterior dari spina Scapula. N. Suprascapularis kemudian dapat ditemukan di belakang otot Omohyoid. N. Suprascapularis dieksplorasi dari asalnya di trunkus superior hingga ke cabang

motorik otot Infraspinatus. Cangkok saraf dilakukan dengan menggunakan N. Suralis sebagai donor saraf. Ada 5 pola cangkok saraf yang dilakukan oleh Mikami seperti tampak pada gambar 4.11.⁴⁵ Pola pertama adalah pencangkokan saraf *Suprascapularis* sejak ke luar dari trunkus superior hingga *Suprascapular notch*. Pola ke dua adalah pencangkokan saraf *Suprascapularis* sejak ke luar dari trunkus superior hingga setelah percabangan saraf yang menuju ke otot *Supraspinatus* dan *Infraspinatus*. Pola ke tiga adalah pencangkokan saraf *Suprascapularis* sejak keluar dari trunkus superior hingga ke saraf yang menuju otot *Infraspinatus*. Pola ke empat adalah pencangkokan saraf *Suprascapularis* sejak ke luar dari trunkus superior hingga otot *Supraspinatus* dan cabang saraf ke *Infraspinatus*. Pola ke lima adalah pencangkokan saraf distal dari percabangan *Supraspinatus* dan *Infraspinatus* ke cabang saraf *Infraspinatus*.

Prosedur cangkok saraf pada lesi Pleksus Brakialis memberikan hasil pemulihan fungsi otot yang baik pada kelompok otot fleksor dan ekstensor siku maupun otot-otot bahu. Namun tidak demikian halnya pada kelompok otot *antebrachii* dan intrinsik tangan.⁴⁶ Pemulihan kekuatan otot dengan ruang gerak dan pulihnya fungsi bahu akan baik apabila pembedahan dilakukan dalam kurun waktu kurang dari 4 bulan setelah cedera. Eksplorasi dini dan cangkok saraf akan menghasilkan pemulihan yang fungsional apabila keseluruhan panjang saraf dapat teridentifikasi. Khususnya N. *Suprascapularis* harus dieksplorasi dari tempat keluarnya di trunkus superior hingga cabang motorik otot *Infraspinatus*. Oleh karena cedera traksi yang kuat, maka N. *Suprascapularis* ini dapat mengalami kerusakan pada beberapa tempat, yaitu *Scapular notch*, proksimal dari *Scapular notch*, dan *Spinoglenoid notch*. Pemulihan otot *Deltoid* dan *Infraspinatus* akan lebih baik apabila cederanya terjadi pada *circum flexa* dari N. *Suprascapularis* dibandingkan bila terjadi pada pleksus itu sendiri. Alasannya adalah saraf tersebut dieksplorasi secara keseluruhan panjang dan dapat ditentukan adanya lesi yang terjadi di beberapa tempat.

Tabel 4.1 Sisi Proksimal dan Distal Prosedur Graf Saraf Pleksus Brakialis⁴⁶

Nomer		Nomer	
C4	2	Upper trunk	8
C5	39	Middle trunk	3
C6	11	Lower trunk	0
C7	4	Lateral cord	8
Upper trunk	18	Posterior cord	9
Middle trunk	2	Medial cord	1
Lower trunk	3	Accessory nerve	1
Lateral cord	5	Suprascapular nerve	31
Posterior cord	2	Axillary nerve	42
Medial cord	1	Pectoral nerve	2
Suprascapular nerve	18	Musculocutaneous nerve	22
Axillary nerve	28	Median nerve	17
Musculocutaneous nerve	5	Radial nerve	9
Median nerve	1	Ulnar nerve	1
Radial nerve	3		

Hasil yang jelek didapatkan manakala akar saraf tampaknya utuh dan normal, tetapi berdasarkan pemeriksaan *Somatosensory Evoked Potensial* (SSEP) hasilnya ternyata abnormal. Ochiai telah meneliti penderita lesi Pleksus Brakialis dengan jumlah yang lebih banyak yaitu 90.⁴⁶ Evaluasi tempat lesi dengan rekaman SSEP intraoperatif pada masing-masing akar saraf. Penilaian dengan myelografik juga dilakukan untuk menentukan apakah akar saraf yang cedera itu dapat digunakan sebagai resipien cangkok saraf. Penampang melintang ujung proksimal akar saraf atau trunkus sebanyak mungkin tercangkok dengan donor dari N. Suralis.

Pemulihan kekuatan otot ≥ 3 terjadi pada otot Deltoid 59,7%; otot *Infraspinatus* 47,2%; otot *Pectoralis Mayor* 42,9%; otot *Biceps* 74,3%; otot *Triseps* 38,9%; otot *Extensor Digitorum Communis* 11,8%; otot *Flexor Digitorum Superficial* 13%; dan otot *Flexor Pollicis Longus*

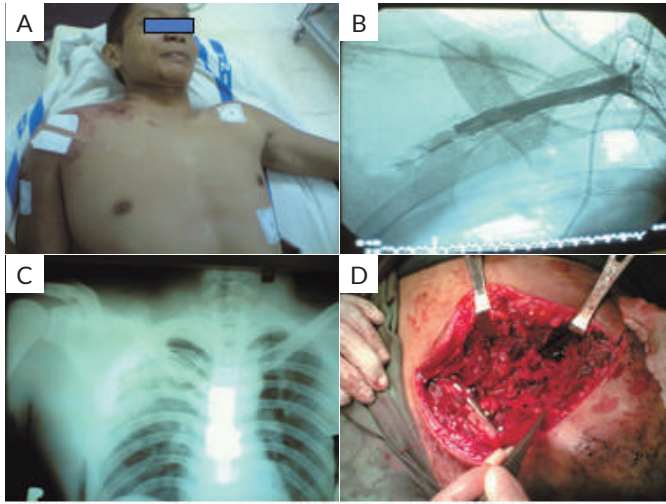
13%. Pemulihan yang fungsional hanya terjadi pada kelompok otot siku dan bahu. Hasil jelek dan tidak fungsional biasanya terjadi pada kelompok otot fleksor dan ekstensor antebrahii. Sementara itu otot intrinsik yaitu otot Abductor Pollicis Brevis adalah sangat jelek.

Kualitas sambungan saraf proksimal, terutama pada akar saraf adalah suatu hal yang kritis. Pengalaman Ochiai pada tahun 1996 menunjukkan 4 penderita dengan hasil yang jelek meskipun menggunakan akar saraf dengan SSEP normal dan Myelogram normal.⁴⁶ Hasil jelek ini terutama didapatkan pada prosedur reinervasi otot Deltoid. Demikian juga terjadi pada 11 penderita yang menggunakan akar saraf spinal yang tampaknya utuh tetapi dengan hasil SSEP dan atau Myelogram yang abnormal. Studi immunohistologis telah membuktikan adanya degenerasi dan regenerasi *immature* telah terjadi pada serabut saraf dari akar saraf spinal yang tampaknya normal.⁴⁷

Kondisi pada target cangkok saraf distal juga harus dipastikan. Lesi Pleksus Brakialis biasanya disebabkan oleh traksi dan jaringan saraf yang rusak mungkin terjadi di sepanjang perjalanan saraf. Lesi yang terjadi pada beberapa tempat cukup sering terjadi.^{48,49} Pada umumnya, hasil cangkok saraf yang pendek lebih baik dibandingkan dengan yang panjang. Namun apa yang ditemukan oleh Ochiai pada tahun 1996 pada dua kasus biceps dengan panjang cangkokan saraf 25 cm didapatkan hasil dengan pemulihan kekuatan otot ≥ 3 .⁴⁶ N. Musculocutaneous dapat dieksplorasi secara mudah di sepanjang perjalanannya. Hal tersebut semakin menguatkan prinsip dalam cangkok saraf yaitu kondisi saraf baik proksimal maupun distal adalah sama pentingnya. Pada akhirnya, dapat dikatakan bahwa cangkok saraf dapat digunakan untruk memulihkan fungsi bahu dan siku, tetapi akan kurang bermakna pada lengan bawah dan tangan. Rekonstruksi lengan bawah dan tangan disarankan dengan menggunakan *free functioning muscle transfer*.⁵⁰

Tabel 4.2 Persentase Capaian Pemulihan Masing Masing Otot ⁴⁶

Otot	Nomor	Manual muscle testing (MRC grade)					
		5	4	3	2	1	0
Infraspinatus	36	5,6	19,4	22,2	22,2	19,4	11,1
Deltoid	57	10,5	21,1	28,1	14,0	19,3	7,0
Pectoralis major	14	0,0	28,6	14,3	35,7	7,1	14,3
Biceps	35	14,3	25,7	34,3	5,7	8,6	11,4
Brachioradialis	25	0,0	0,0	8,0	16,0	20,0	56,0
Triceps	18	0,0	16,7	22,2	16,7	22,2	22,2
Extensor carpi radialis	22	0,0	4,5	13,6	9,1	27,3	45,5
Extensor digitorum communis	17	0,0	0,0	11,8	0,0	5,9	82,4
Extensor carpi ulnaris	17	0,0	0,0	0,0	0,0	11,8	88,8
Extensor pollicis longus	17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Flexor carpi radialis	32	0,0	6,3	6,3	18,8	6,3	62,5
Palmaris longus	17	0,0	5,9	0,0	17,6	5,9	70,6
Flexor carpi ulnaris	2	0,0	50,0	50,0	0,0	0,0	0,0
Flexor digitorum sublimis	23	0,0	0,0	13,0	13,0	4,3	69,6
Flexor pollicis longus	23	0,0	4,3	8,7	13,0	4,3	69,6
Flexor digitorum profundus	2	0,0	50,0	50,0	0,0	0,0	0,0
Abductor pollicis brevis	17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Abductor digiti minimi	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0

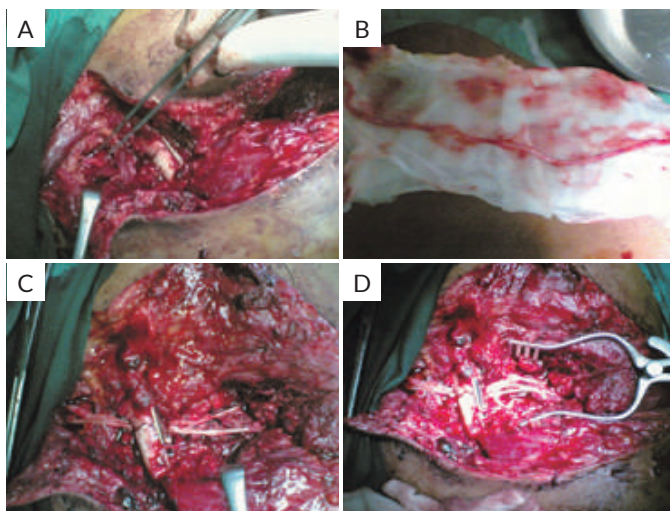


Gambar 4.12

Lesi Pleksus Brakialis kanan pada kasus akibat ledakan senjata api. (A) Laki-laki 24 tahun dengan cedera bahu kanan yang disebabkan oleh ledakan senapan api, (B) lesi A. Subclavia, (C) berakibat Fraktur klavikula disertai dan (D) lesi Pleksus Brakialis kanan. (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Pengalaman penulis dalam melakukan tindakan cangkok saraf terhadap kasus terkena ledakan senapan pada bahu kanan seperti tampak pada Gambar 4.12 dan 4.13.

Dengan menggunakan desain retrospektif-kohort, penulis melakukan analisis uji komparatif antara dua kelompok pasien yang telah menjalani operasi cangkok saraf (*Nerve Grafting*) dan transfer saraf (*Nerve Transfer*) pada pasien lesi Pleksus Brakialis, dengan jumlah total 15 per kelompok. Kriteria inklusi adalah operasi pencangkokan dan transfer saraf dilakukan oleh satu operator, operasi pencangkokan dan transfer saraf yang dilakukan minimum tiga minggu hingga maksimum sembilan bulan setelah kecelakaan, dan operasi pencangkokan saraf atau transfer saraf telah dilakukan setidaknya 6 bulan sebelum evaluasi fungsi klinis. Sedangkan kriteria eksklusi adalah pasien lesi Pleksus Brakialis yang pernah dilakukan



Gambar 4.13

Eksplorasi dan pencangkokan saraf pada Lesi Pleksus Brakialis kanan akibat ledakan senjata api. (A) Lesi Pleksus Brakialis kanan pada kasus akibat ledakan senapan api, (B) dilakukan cangkok saraf yang diambil dari N. Suralis, (C) Pencangkokan saraf dari Root C5 ke N. Aksilaris dan N. Suprascapularis, (D) Root C6 ke N. Musculocutaneous, Root C7 ke N. Radialis, dan Root C8 ke N. Medianus. (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

operasi rekonstruksi saraf lain selain pencangkokan dan transfer saraf (seperti transfer tendon, *Free Functioning Muscle Transfer (FFMT)*, dan arthrodesis), pasien lesi Pleksus Brakialis akibat proses persalinan dan pasien yang tidak bersedia untuk berpartisipasi dalam penelitian (menolak *informed consent*).

Data penelitian dikumpulkan dengan cara melacak data rekam medis di Rawat Inap dan Rawat Jalan Orthopaedi dan Traumatologi RSUD Dr. Soetomo dalam interval waktu dari 1 Januari 2009 – 30 September 2014, dan sampel dikumpulkan dengan metode *consecutive sampling*. Setelah pengumpulan data, sampel dikategorikan menjadi dua kelompok, pascaoperasi pencangkokan

saraf dan pascaoperasi transfer saraf. Tes fungsi klinis dilakukan setelah kategorisasi dengan menggunakan Lembar Pengumpulan Data dan *QuickDASH Questionnaire* yang dilakukan dengan persetujuan dari pasien.

Untuk pengolahan data statistik, data demografis ditampilkan dengan menggunakan statistik deskriptif dan dianalisis secara statistik untuk membandingkan variabel dependen antara dua kelompok. Analisis data dari dua kelompok dengan skala data berkelanjutan (rasio) dilakukan dengan menggunakan uji normalitas Kolmogorov-Smirnov, dan jika distribusi data-data ditemukan normal, dilakukan uji parametrik dengan menggunakan *Independent T-test*, namun jika ditemukan abnormal, dilakukan uji non-parametrik menggunakan uji Mann-Whitney.

Hasilnya adalah berdasarkan Tabel 4.3, ditemukan bahwa rata-rata usia kelompok pencangkakan saraf adalah 27,2 tahun, sedangkan untuk kelompok transfer saraf adalah 29,93 tahun. Angka-angka tersebut kemudian dianalisis dengan menggunakan *independent t-test* karena distribusi data normal, dan tidak ada perbedaan yang signifikan pada variabel umur, karena $p = 0,510$. Variabel demografi kedua yang dianalisis adalah jenis kelamin, dan ditemukan bahwa 24 pasien adalah laki-laki (11 pasien pada kelompok pencangkakan saraf, 13 pasien pada kelompok transfer saraf) dan 6 pasien adalah perempuan (4 pasien pada kelompok pencangkakan saraf dan 2 pasien pada kelompok transfer saraf). Kemudian variabel ini diuji dengan menggunakan *fisher's exact test* dan ditemukan $p=0,651$ sehingga tidak ada perbedaan yang signifikan pada variabel ini juga.

Pada diagnosis pasien berdasarkan jenis cedera, ditemukan 15 pasien yang termasuk dalam kelompok pencangkakan saraf mengalami cedera tipe lengkap (postganglionik C5,6,7 dan preganglionik C8-T1), dan untuk kelompok transfer saraf, 9 pasien mengalami cedera tipe atas tidak lengkap (C5-6) dan 6 pasien mengalami cedera tipe atas tidak lengkap (C5-6-7). Variabel ini diuji dengan uji *chi-square* dengan hasil $p=0,000$ yang berarti memiliki perbedaan yang signifikan antara kedua kelompok. Waktu operasi dan evaluasi juga dianalisis

Tabel 4.3 Karakteristik sampel data demografik data dari kelompok Cangkok Saraf dan Transfer Saraf pasien lesi Pleksus Brakialis di RSUD Dr. Soetomo periode Januari 2009–Desember 2014

Variabel	<i>Nerve Grafting</i> (n=15)	<i>Nerve Transfer</i> (n=15)
Usia (tahun)*	27,20 ± 9,73	29,93 ± 12,53
Jenis kelamin**		
Laki-laki	11 (73,3%)	13 (86,7%)
Perempuan	4 (26,7%)	2 (13,3%)
Diagnosis***		
Tipe komplet	15 (100%)	0
Tipe inkomplet	0	15 (100%)
Waktu operasi (bulan)	3,47 ± 2,20	5,00 ± 1,93
Lama evaluasi (bulan)	20,80 ± 10,38	21,00 ± 10,49

Keterangan:

*) ditampilkan dalam rata-rata ± standar deviasi, dianalisis dengan uji t-independen.

**) ditampilkan dalam jumlah total (persentase), dianalisis dengan *Fisher's exact test*.

***) ditampilkan dalam jumlah total (persentase), dianalisis dengan uji *chi-square*.

p>0.05 menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan pada variabel tercetak tebal.

dengan menggunakan *t-test*, namun tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan yang dinyatakan oleh $p=0,052$ sebagai waktu perawatan keseluruhan dan $p=0,959$ sebagai waktu operasi dan evaluasi. Secara umum, hasil statistik ini menunjukkan bahwa karakteristik sampel antara kelompok pencangkokan saraf dan kelompok transfer saraf adalah homogen.

Perbandingan fungsi klinis dari kedua kelompok diuji dengan beberapa parameter, seperti *Range of Motion* (ROM) abduksi bahu dan fleksi siku, gerakan motorik abduksi bahu (BMRC) dan motorik fungsionalnya ($M \geq 3$), gerakan motorik fleksi siku dan motorik fungsionalnya ($M \geq 3$), nyeri neuropatik (skor *Visual Analog Score/VAS*), dan disabilitas ekstremitas atas (*QuickDASH*). Tidak ada perbedaan yang signifikan pada perbandingan ROM abduksi bahu antara dua kelompok, dinyatakan oleh $p=0,439$ pada hasil uji t-independen. ROM fleksi siku ditemukan lebih baik pada kelompok transfer saraf (102,67°

$\pm 36,35$), dibandingkan dengan kelompok pencangkakan saraf ($86,67^0 \pm 48,32$), dan dengan analisis uji t-independen ditemukan adanya perbedaan yang signifikan ditandai dengan $p=0,031$.

Fungsi motorik pada parameter abduksi bahu diuji dengan menggunakan uji *Mann-Whitney* dan menemukan bahwa $p=0,874$. Oleh karena itu, tidak ada perbedaan signifikan antara kedua kelompok. Fungsi motorik untuk fleksi siku ditemukan memiliki perbedaan yang signifikan, dinyatakan dengan $p=0,026$ pada uji *Mann-Whitney*. Pada parameter nyeri neuropatik berdasarkan skala VAS, kelompok pencangkakan saraf memiliki skala minimum 0, dan skala maksimum 7 dengan median 2, sedangkan untuk kelompok

Tabel 4.4 Perbandingan fungsi klinis pascaoperasi kelompok Cangkok Saraf dan Transfer Saraf pasien lesi Pleksus Brakialis di RSUD Dr. Soetomo periode Januari 2009–Desember 2014

Variabel	<i>Nerve Grafting</i> (n=15)	<i>Nerve Transfer</i> (n=15)
Abduksi bahu/ ROM*	$71,33^{\circ} \pm 32,87^{\circ}$	$61,67^{\circ} \pm 34,52^{\circ}$
Fleksi siku/ ROM*	$86,67^{\circ} \pm 48,32^{\circ}$	$102,67^{\circ} \pm 36,35^{\circ}$
Motorik abduksi bahu (BMRC)**	3 (2-4)	3 (2-5)
Motorik fungsional ($M \geq 3$)***	13 (87%)	13 (87%)
Motorik fleksi siku (BMRC)**	3 (1-4)	4 (1-5)
Motorik fungsional ($M \geq 3$)***	11 (73%)	13 (87%)
<i>Neuropatic Pain</i> (VAS)**	2 (0-7)	1 (0-3)
Disabilitas ekstremitas atas (<i>QuickDASH score</i>)*	$42,67 \pm 21,92$	$24,60 \pm 14,83$

Keterangan:

*) ditampilkan dalam rata-rata \pm standar deviasi, dianalisis dengan uji t-independen.

**) ditampilkan dalam jumlah total (persentase), dianalisis dengan uji *Mann-Whitney*.

***) ditampilkan dalam jumlah total (persentase).

$p < 0.05$ menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan pada variabel tercetak tebal.

transfer saraf skala minimum adalah 0, tetapi skala maksimum adalah 3 dengan median 1. Dengan menggunakan uji *Mann-whitney*, ditemukan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan dalam variabel nyeri neuropatik, dengan $p=0,236$. Variabel terakhir yang diuji adalah derajat disabilitas ekstremitas atas dengan menggunakan QuickDASH, dan ditemukan bahwa kelompok transfer saraf ($24,60 \pm 14,83$) memiliki derajat disabilitas yang lebih rendah dibandingkan dengan pencangkokan saraf ($42,67 \pm 21,92$) yang secara statistik signifikan ditandai dengan $p=0,014$ pada uji-t independen.

Sebuah penelitian yang dilakukan oleh Thatte melaporkan pasien yang dirawat dengan kombinasi neurolisis (79 pasien), neurotisasi (84 pasien), atau pencangkokan saraf (29 pasien) sesuai dengan temuan intraoperasi. Pasien termuda berusia 18 tahun dengan rata-rata 27,4 tahun. Mekanisme cedera yang paling umum adalah kecelakaan sepeda motor (86%). Interval waktu rata-rata antara cedera dan operasi adalah 5,13 bulan. Rata-rata tindak lanjut/*follow-up* pascaoperasi adalah 22,8 bulan. Untuk mempertahankan fungsi fisik pasien yang memiliki cedera saraf, cangkok saraf sering diperlukan untuk menjembatani ujung saraf yang tertarik. Selain menyebabkan morbiditas pada tempat donor, cangkok saraf juga menyebabkan hilangnya beberapa akson di seluruh lokasi koaptasi cangkok saraf. Transplantasi cangkok saraf autologous kadang-kadang tidak memungkinkan karena terbatasnya jumlah saraf donor yang tersedia. Di Texas Children's Hospital, lebih dari 1200 pencangkokan saraf dan lebih dari 350 transfer saraf telah dilakukan dengan peningkatan fungsi lebih dari 90% dan lebih dari 3500 transfer tendon/otot dengan peningkatan fungsi lebih dari 95%. Saat ini, operasi transfer saraf digunakan untuk meningkatkan hasil terapi pasien dengan cedera saraf. Teknik ini dikategorikan sebagai operasi sederhana dan tidak memerlukan re-edukasi otot khusus. Menyisakan beberapa fasikel untuk saraf ulnaris dan medianus tidak menyebabkan penurunan fungsi tangan (morbiditas) secara subjektif.⁴⁴

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ditemukan bahwa ROM fleksi siku dari kelompok pascaoperasi transfer saraf lebih besar, fungsi motorik dari fleksi siku juga lebih baik, derajat disabilitas ekstremitas atas lebih rendah dibandingkan dengan kelompok pencangkokan saraf. Dua hipotesis yang dinyatakan sebelumnya dalam latar belakang terkonfirmasi dalam penelitian ini, yaitu ROM aktif dari sendi yang terlibat pada pasien pascaoperasi transfer saraf lebih besar dari kelompok pencangkokan saraf, dan disabilitas ekstremitas atas pada kelompok pascaoperasi transfer saraf lebih rendah daripada dari pencangkokan saraf. Penelitian ini didukung oleh penelitian lain yang menyatakan delapan dari 15 pasien mengalami pemulihan abduksi aktif. Lima pasien memiliki pemulihan M3 untuk abduksi bahu dan tiga pasien memiliki pemulihan M4. Di antara pasien yang telah mengalami pemulihan gerakan aktif (delapan), kisaran rata-rata abduksi adalah 66 derajat (kisaran 45-90).

Dua hipotesis lainnya tidak terkonfirmasi dalam penelitian ini, mungkin karena kurangnya data yang dibutuhkan. Penelitian lebih lanjut diperlukan dengan menggunakan uji dinamometer dan kilogram *lifting test*. Variabel lebih lanjut dapat ditambahkan juga, seperti sensibilitas sensoris, kualitas hidup, dan kepuasan pasien dengan menggunakan *Short Form 36 (SF-36)* atau kuisioner *Health-Related Quality of Life (HRQoL)*.

4.3 Transfer Saraf (*Nerve Ttransfer*) pada Lesi Pleksus Brakialis

Transfer dari saraf yang masih fungsional tetapi kurang penting ditujukan ke bagian distal pada saraf yang penting tetapi mengalami denervasi. Prosedur ini disebut transfer saraf atau neurotisasi. Prosedur ini telah menjadi bagian integral pada rekonstruksi saraf pada lesi Pleksus Brakialis, baik pada cedera tipe preganglionik maupun tipe postganglionik. Transfer saraf secara umum dapat diklasifikasikan dalam 3 kategori, yaitu transfer saraf intrapleksal (dari dalam pleksus itu sendiri), transfer saraf ekstrapleksal (dari luar Pleksus Brakialis), dan transfer saraf target terdekat (*close target nerve transfer*). Saraf yang sering digunakan sebagai donor dari ekstrapleksal adalah N.

Accessorius Spinalis (N. Cranial XI), N. Intercostal, N. Phrenicus, akar saraf C7 kontralateral. Saraf yang sering digunakan sebagai donor intrapleksal adalah potongan proksimal akar saraf C5, C6.

Transfer saraf ini menjadi semakin penting dalam intervensi bedah mikro lesi Pleksus Brakialis. Prosedur ini utamanya diindikasikan pada lesi Pleksus Brakialis letak tinggi. Bila terjadi lesi Pleksus Brakialis letak tinggi, maka potongan saraf sisi proksimal sudah tidak dapat lagi ditemukan. Peranan transfer saraf di sini adalah penggunaan saraf yang sehat untuk ditransferkan ke target saraf sesuai dengan prioritas. Penggunaan donor saraf yang sehat atau masih fungsional akan memberikan kepastian terjadinya regenerasi aksonal pada saat ditransferkan ke target saraf tersebut. Penulis lebih memilih rekonstruksi transfer saraf motorik distal dibandingkan dengan penggunaan cangkok saraf yang panjang terhadap lesi pleksus level *supraclavicular*. Teknik ini memungkinkan diseksi jaringan yang tidak mengalami cedera dan tidak ada parut, sehingga akan mengurangi jarak dan waktu regenerasi aksonal sekaligus memastikan reinervasi otot sebelum perubahan yang sifatnya *irreversible* terjadi pada *motor end plate*. Reinervasi otot yang optimal akan bergantung kepada jumlah yang memadai dari regenerasi aksonal motorik dalam mencapai target otot dalam kurun waktu sekitar satu tahun setelah cedera. Secara umum kriteria pemilihan pasien yang akan dilakukan transfer saraf adalah ketiadaan potongan saraf proksimal, waktu regenerasi aksonal diprediksi akan lama bila menggunakan teknik lain seperti reparasi maupun cangkok saraf, dan tidak tentunya level cedera saraf.

Verifikasi saraf motorik yang rusak intraoperatif merupakan hal yang sangat penting pada transfer saraf. Saraf resipien yang cedera sudah seharusnya diidentifikasi dan dinilai dengan *electrical stimulation* lebih dulu untuk menghindari pemotongan saraf yang ternyata sedang mengalami pemulihan, serta pencegahan diseksi saraf donor yang sebenarnya sudah tidak perlu lagi. Saraf donor didiseksi dan dievaluasi derajat kontraktilitas otot yang diinervasinya dengan *electrical stimulation*. Jika saraf donor yang akan digunakan hanyalah

satu fasikel saja dari saraf tersebut, maka perlu dilakukan neurolisis internal secara teknik bedah mikro. Kualitas dan fungsi donor fasikel harus dinilai dengan baik, demikian juga fasikel lainnya dari saraf tersebut untuk menghindari terjadinya morbiditas. Transfer saraf yang sering dilakukan pada ekstremitas atas dapat dilihat pada Tabel 4.5. Kepastian transfer saraf bebas tegang tanpa kompensasi postural dapat dilakukan dengan membebaskan baik saraf resipien seproksimal mungkin dan saraf donor sedistal mungkin. Ada mantra yang berbunyi “donor distal, resipien proksimal” dalam perencanaan transfer saraf untuk menghindari ketegangan pada sisi reparasi. Hindari penggunaan cangkok saraf sebisa mungkin pada prosedur transfer saraf ini.

Pilihan saraf donor yang optimal untuk transfer saraf motorik adalah (1) kuantitas akson motorik, (2) kedekatan dengan otot target, (3) sinergisitas fungsi otot. Cabang saraf yang hanya murni menginervasi otot atau fasikel motorik yang mudah untuk dipisahkan dari saraf campuran motorik dan sensorik, seperti fasikel motorik N. Ulnaris untuk Fleksor Carpi Ulnaris (FCU) dan fasikel motorik N. Radialis untuk medial Triseps, merupakan pilihan yang potensial. Penggunaan saraf donor yang memberikan fungsi sinergis ke otot target akan memudahkan rehabilitasi dan re-edukasi pascaoperasi, yang selanjutnya akan meningkatkan keberhasilannya. Sebaliknya, jika saraf donor tidak sinergis atau bahkan antagonis, maka rehabilitasi dan re-edukasinya akan lebih sulit.

Pada saat mempertimbangkan rekonstruksi saraf lesi Pleksus Brakialis, maka harus diidentifikasi saraf donor yang tersedia dan fungsi prioritas yang akan dicapai untuk pemulihan lesi Pleksus tersebut. Prioritas tertinggi adalah fleksi siku, diikuti oleh fungsi abduksi dan stabilitas bahu, ekstensi pergelangan tangan dan fleksi jari-jari tangan, fleksi pergelangan tangan dan ekstensi jari-jari tangan. Prioritas yang terakhir adalah fungsi intrinsik tangan yang merupakan fungsi tersulit yang dapat dicapai. Transfer saraf yang paling sering dilakukan adalah untuk reinervasi otot-otot fleksi siku dan abduksi bahu. Fungsi yang lebih ke distal seperti prehensif

Tabel 4.5 Transfer Saraf Motorik yang Umum Digunakan pada Ekstremitas Atas

Defisit Motorik	Saraf Resipien	Saraf Donor
Fleksi siku	Cab Biceps & Brakialis MCN	Fasikel ke FCU N. Ulnaris Fasikel ke FDS/PL/FCR N Medianus
Fleksi siku	N. Musculocutaneous	Cab N. Medial pectoralis
Fleksi siku	N. Musculocutaneous	N. Thoracodorsal
Fleksi siku	N. Musculocutaneous	N. Accesorius distal
Fleksi siku	N. Musculocutaneous	N. Intercostal
Abduksi/ Rotasi eksternal bahu	N. Suprascapularis	N. Accesorius, fasikel Pectoral C7, Trunkus Medius
Abduksi bahu	N. Axillaris	Cab Medial triseps
Abduksi bahu	N. Axillaris	N. Pectoralis Medial
Abduksi bahu	N. Axillaris	N. Thoracodorsal
Abduksi bahu	N. Axillaris	N. Intercostal
Scapular winging	N. Thoracikus longus	N. Thoracodorsal
Scapular winging	N. Thoracikus longus	Fasikel Pectoral C7, Trunkus Medius
Scapular winging	N. Thoracikus longus	N. Intercostal
Intrinsik Tangan	Deep motor branch/ fascicles of ulnar nerve	Distal AIN
Pronasi	Pronator teres branches of median nerve	ECRB branch of radial nerve FDS or FCR/palmaris longus branch of median nerve
Ekstensi Wrist & jari	Cab. N. Radialis: ECRB & PIN	Cab N Medianus pro FDS, FCR/PL
Fleksi jari-jari	Cab. N. Medianus: AIN	Cab MCN: Brakialis, cab. N. Radialis: ECRB & Supinator
Ekstensi siku	Cab N. Radialis: Triseps	N. Ulnaris fasikel FCU, N. Radialis fasikel ECRL
Ekstensi siku	Cab N. Radialis: Triseps	N. Intercostal

tangan hanya dapat dicapai dengan transfer saraf C7 kontralateral atau dengan *free functioning muscle transfer* (FFMT).⁵¹

Waktu pembedahan untuk transfer saraf dalam hubungannya dengan saat cedera merupakan hal yang sangat penting. Waktu yang paling baik untuk transfer saraf seharusnya dilakukan sebelum 6 bulan setelah cedera. Hasil transfer saraf akan menurun secara bermakna apabila dikerjakan setelah 6 bulan. Pada kasus yang datang terlambat, maka transfer saraf dengan FFMT Gracilis merupakan pilihan terbaik.⁵¹

Nervus Accessorius Spinalis

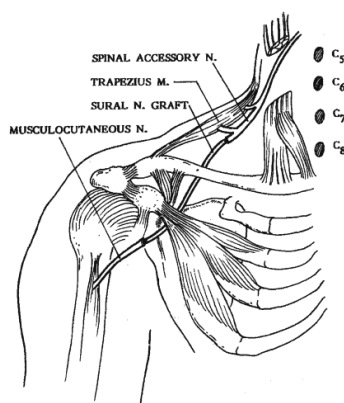
N. Accessorius Spinalis (N. Cranialis XI) merupakan saraf motorik murni yang menginervasi M. Sternocleidomastoideus dan M. Trapezius dan mempunyai 1.700 serabut saraf motorik. Dapat ditemukan melalui insisi yang juga digunakan untuk pemaparan Pleksus Brakialis *supraclavicular*, yaitu insisi transversal *supraclavicular*. Pada batas lateral luka operasi, N. Accessorius Spinalis dapat ditemukan beberapa cm di atas klavikula pada permukaan anterior M. Trapezius. Stimulator saraf dapat digunakan untuk mengidentifikasi saraf tersebut. Cabang pertama N. Accessorius harus dipertahankan. Denervasi sebagian dari otot Trapezius menjadi morbiditas yang harus dipertimbangkan. Oleh karena itu, saraf ini harus didiseksi sedistal mungkin supaya penggunaannya sebagai donor tetap mempertahankan fungsi M. Trapezius. N. Accessorius Spinalis sangat sering digunakan sebagai saraf motorik donor yang dapat ditransfer secara langsung ke N. Suprascapularis dan N. Axillaris atau secara tidak langsung dengan graf interposisi ke N. Musculocutaneous. Saraf ini juga dapat digunakan sebagai saraf motorik donor pada *Free Functioning Muscle Transfer* (FFMT).

Teknik bedah pengambilan N. Accessorius Spinalis dengan memosisikan penderita secara supinasi dan ganjal bantal di bawah interscapula dan kepala ditolehkan ke kontralateral. Manuver ini akan mengangkat bahu dan leher hingga mempermudah akses menuju N.

Accessoryus Spinalis. Insisi transversal *supraclavicular* dan diseksi profundusnya adalah melepaskan otot Trapezius bagian atas dengan koagulator dan diretraksikan ke posterior. N. Accessorius Spinalis dapat ditemukan pada permukaan anterior otot Trapezius. Petanda untuk deteksi N. Accessorius Spinalis adalah arteri dan vena Cervicalis Transversalis. Pembuluh darah ini memasuki masa otot pada bagian dasar leher dan berjalan menurun secara vertical di antara kolum vertebralis dan tepi medial Scapula. N. Accessorius Spinalis dapat selalu ditemukan dalam jaringan lemak pada permukaan anterior otot Trapezius. Cabang kecil saraf ke otot Trapezius bagian atas harus tetap dipertahankan. Cabang terminal saraf ini didiseksi sedistal mungkin, dipotong, dan dengan panjang yang cukup dapat ditransferkan ke *fossa supraclavicular*.

Gambar 4.14

Transfer saraf N. Accessorius Spinalis ke N. Musculocutaneus dengan graf interposisi N. Suralis untuk rekonstruksi fleksi siku.⁵²



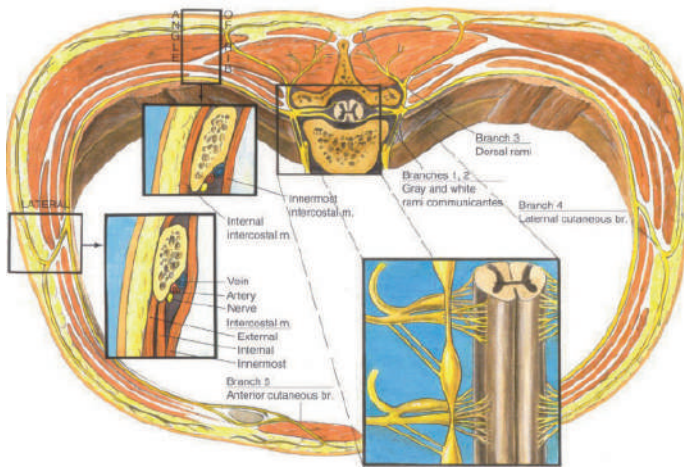
Songcharoen *et al* (1996) melaporkan 216 penderita lesi Pleksus Brakialis tipe avulsi yang dilakukan transfer saraf N. Accessorius Spinalis ke N. Musculocutaneus untuk restorasi fleksi siku.⁵² Dengan rerata waktu *follow up* selama 6 tahun, didapatkan pemulihan fleksi siku dengan \geq M3 adalah 72,5%. Rerata interval waktu antara pembedahan dan pemulihan M3 adalah 17 bulan. Penderita yang dilakukan pembedahan lebih dari 9 bulan mempunyai hasil yang jelek, yaitu 25,5% - 62,5%.⁵²

Penggunaan N. Accessorius Spinalis sebagai donor mempunyai beberapa kelebihan yaitu saraf ini murni saraf motorik sehingga semua serabut saraf berguna dalam reinervasi pada *motor end plate* resipien, relasi fungsi yang dekat antara N. Accessorius Spinalis (elevasi bahu), dan N. Musculocutaneous (fleksi siku) yang akan mempermudah rehabilitasi motorik pascaoperasi. Sementara itu, transfer saraf yang tidak berkaitan dengan fungsi biasanya memerlukan periode waktu yang lebih lama dalam hal latihan untuk mencapai perubahan fungsi motorik. Terdapat beberapa kerugian dalam penggunaan N. Accessorius Spinalis, yaitu diperlukan graf interposisi sehingga regenerasi akson dari N. Accessorius Spinalis harus melewati dua rintangan untuk mencapai N. Musculocutaneous, denervasi sebagian pada otot Trapezius.

Nervus Intercostal

N. Intercostal adalah ramus anterior dari II N. Spinalis Thorakalis. Saraf tersebut memberikan inervasi sensoris maupun motoris pada intercostal, subcostal, serratus posterior superior, dan otot-otot thoraks transversus. Saraf ini terletak pada permukaan bawah dari masing masing tulang costa, berdekatan dengan pembuluh darah intercostal, dan di sisi profundus dari otot intercostal. Pada garis axillaris anterior akan ditemukan cabang kutaneous lateralis yang berjalan melalui otot intercostal menuju kulit terdekat dan biasanya lebih besar dari pada cabang motorik. N. Intercostal berisi sekitar 3000–4000 serabut saraf myelin dan setiap saraf membawa jumlah yang berbeda baik serabut motorik maupun sensoris. N. Intercostal ketiga dan keempat berisi terutama serabut saraf motorik dan dapat ditransferkan secara langsung ke N. Musculocutaneous tanpa menggunakan graf interposisi.

N. Intercostal yang sering digunakan sebagai sumber pada transfer saraf adalah N. Intercostal ketiga, keempat, kelima, dan keenam. Karena dilaporkan hasil yang jelek pada penggunaan N. Intercostal bila disertai graf interposisi, maka hanya saraf yang dapat ditransferkan secara langsung ke cabang terminal Pleksus Brakialis



Gambar 4.15 Topografi N. Intercostal pada Potongan Melintang Rongga Dada.⁵⁵

yang akan digunakan.^{53,54} Kedua cabang baik Cutaneous lateralis maupun motoris anterior dapat digunakan sebagai sumber pada transfer saraf menuju target yang telah ditentukan secara terpisah karena kecilnya diameter, sehingga penggunaan N. Intercostal motoris untuk transfer saraf diperlukan dua atau lebih.

N. Intercostal diindikasikan sebagai sumber saraf untuk rekonstruksi fleksi siku, tetapi saraf tersebut juga dapat digunakan sebagai sumber saraf untuk sensibilitas tangan, fungsi triseps, dan bahkan untuk FFMT. Khusus untuk FFMT, anastomosis pembuluh darah dan transfer saraf N. Intercostal dilakukan di daerah Axilla.

Otot Gracilis yang digunakan pada prosedur FFMT ini mempunyai panjang yang cukup untuk rekonstruksi fungsi menggenggam, fleksi atau ekstensi siku, dan kombinasi fleksi siku dan ekstensi pergelangan tangan dan jari-jari tangan. Penggunaan N. Intercosta dikontraindikasikan pada kondisi adanya trauma thoraks dan disertai fraktur costa. Pada wanita muda dan anak perempuan, penggunaan N. Intercostal harus dipertimbangkan dengan hati-hati.

N. Intercostal dapat dicapai melalui insisi *infra mammae*, diteruskan hingga tepi lateral dan inferior otot Pectoralis Mayor. Otot tersebut diangkat untuk memaparkan costa ketiga hingga keenam. Otot Pectoralis Minor yang berorigo dari costa ketiga hingga kelima, juga diangkat untuk pemaparan yang lebih baik.

N. Intercostal adalah donor ekstrapleksal yang paling sering digunakan terutama pada kasus lesi Pleksus Brakialis Total (C5-Th1). Hingga tujuh N. Intercostal dapat ditransfer untuk mendapatkan beberapa fungsi dari ekstremitas atas. N. Intercostal paling sering digunakan sebagai donor saraf untuk pemulihan fleksi siku, namun dapat juga ditujukan ke resipien lain seperti N. Axillaris, N. Thoracicus longus, dan N. Suprascapularis. Pada tahun 2001, Merrell dengan studi meta analisisnya menunjukkan bahwa 72% pasien dapat mencapai pemulihan fleksi siku dengan kekuatan $\geq M3$ apabila dilakukan transfer saraf langsung dari N. Intercostal ke N. Musculocutaneous.³⁶ Namun hanya 47% yang mencapai $\geq M3$ fleksi siku apabila dilakukan transfer saraf tersebut dengan graf interposisi.³⁶

Songcharoen melaporkan transfer saraf Intercostal ketiga dan keempat ke N. Musculocutaneous memberikan hasil yang baik dimana 65% dari 22 kasus transfer saraf tersebut mencapai $\geq M3$ pemulihan otot biceps, dan rata-rata waktu yang diperlukan adalah 12 bulan.³⁷ Penderita dengan pemulihan terbaik dapat mengangkat beban 5 kg hingga 90° fleksi siku. Selama dua tahun pertama setelah operasi, fungsi biceps akan tersinkronisasi dengan fungsi napas. Setelah tiga tahun baru terjadi fungsi biceps yang mandiri, namun kontraksi tetap terjadi manakala sedang batuk atau bersin.³⁷

Nervus Phrenicus

Saraf phrenicus adalah cabang terbesar dari pleksus servikalis dan berisi 800 hingga 1750 serabut saraf bermielin.⁵⁶ Saraf ini sebagian besar berasal dari akar saraf cervical keempat tetapi menerima cabang dari akar saraf Cervical ketiga dan kelima, di tepi lateral otot skalenus anterior, pada level setinggi batas atas dari kartilago tiroid.⁵⁶ Saraf ini berjalan miring/serong, dari lateral ke medial, menyilang di depan

otot skalenus anterior, ditutupi oleh lapisan prevertebral dari fascia cervikalis, dan di bawah otot sternocleidomastoideus, dan turun ke akar leher. Memasuki toraks, saraf phrenicus turun tepat di atas diafragma, di mana ia terbagi menjadi beberapa cabang terminal.⁵⁶

Diafragma adalah otot utama yang terlibat dalam ventilasi pulmonal. Pada orang dewasa normal, pergerakan/kontraksi (*excursion*) diafragma mungkin berkontribusi 30% hingga 60% dari total volume tidal.⁵⁷ Namun, pada pasien dengan cadangan pernapasan yang cukup, paralisis diafragma unilateral tidak akan bergejala. Kontribusi yang tepat dari masing-masing saraf phrenicus terhadap innervasi hemidiafragma dan partisipasi fisiologis otot ini dalam proses ventilasi normal masih kontroversial. Meskipun efek saraf phrenicus unilateral yang terputus pada fungsi ventilasi pada pasien dengan paru-paru normal adalah kecil, ada laporan-laporan tentang pengurangan signifikan fungsi paru setelah lesi tidak disengaja atau iatrogenik pada saraf.⁵⁸

Paralisis Hemidiafragmatik memiliki dampak yang lebih besar pada ventilasi bayi dan anak kecil yang dapat menyebabkan gangguan *distress* pernapasan yang mengancam jiwa.⁵⁹ Ada dua laporan dalam literatur pasien yang mengalami gangguan pernapasan yang signifikan secara klinis setelah transfer saraf phrenicus. Pertama, seorang anak laki-laki berusia lima tahun yang menjalani transfer saraf phrenicus serta saraf interkostal ipsilateral keempat, kelima, dan keenam,⁶⁰ dan kedua yaitu bayi dengan *obstetrical palsy*.⁵⁹ Keduanya pulih dengan baik.

Fakta-fakta berikut dapat menjelaskan peningkatan kerentanan ini pada bayi dan anak-anak⁶¹. (1) Otot interkostalis dan pernapasan aksesori lebih lemah dan memiliki kontribusi peran yang lebih sedikit pada mekanisme pernapasan; (2) diafragma yang lumpuh bergerak secara paradoksal, dan dalam posisi telentang pada umumnya, hal ini mengarah/menyebabkan penurunan lebih lanjut dalam kapasitas vital; (3) mediastinum memiliki mobilitas yang lebih besar pada bayi dan dapat bergeser ke sisi yang tidak terkena dengan penurunan fungsi pulmonal lebih lanjut; dan (4) obstruksi bronkus dari sekresi

yang tertahan lebih mungkin terjadi pada bayi yang memiliki saluran udara berdiameter kecil. Selain itu, diafragma belum sepenuhnya terfiksasi ke corpus vertebrae pada bayi, dan hal ini meningkatkan mobilitasnya.⁵⁹ Kita juga harus mempertimbangkan bahwa bayi menghabiskan lebih banyak waktu tidur mereka dalam *rapid-eye-movement sleep*, di mana otot interkostal tidak aktif.⁶² Oleh karena itu, transfer saraf phrenicus harus dihindari pada bayi dan anak kecil.

Dalam posisi berdiri, gerakan ke bawah diafragma dibantu oleh gravitasi, sedangkan dalam posisi telentang ada beberapa kesulitan dalam bernapas terutama *deep inhation* karena organ perut cenderung mendorong diafragma ke dalam toraks. Dalam praktik klinis, ketika transfer saraf phrenicus dilakukan, pasien harus beristirahat dalam posisi semi duduk.⁶³

Penggunaan saraf phrenicus sebagai donor akson tidak menyebabkan efek jangka panjang pada fungsi pernapasan baik pada orang dewasa⁶⁰, tetapi masih ada kekhawatiran luas tentang efek dari prosedur terhadap fungsi paru-paru. Namun menurut literatur tidak ada gangguan *distress* pernapasan pascaoperasi yang signifikan secara klinis terkait dengan transfer phrenicus pada pasien yang dipilih dengan tepat. Ada empat publikasi dalam literatur yang mempelajari efek neurotisasi dengan saraf phrenicus donor pada fungsi pulmonal.^{59,62-64} Dalam dua studi ini, pasien memiliki alasan tambahan untuk gangguan fungsi paru. Xu *et al* memanen saraf phrenicus dengan panjang penuh dengan *video-assisted thoracic surgery* (VATS)⁶⁵, menghilangkan kemungkinan, setidaknya secara teoritis, kompensasi yang diberikan oleh saraf phrenicus aksesori. Chuang *et al* mempelajari sekelompok pasien yang diterapi dengan kombinasi/gabungan transfer saraf phrenicus dan saraf interkostal multipel.⁶⁶ Mengingat bahwa parameter fungsi paru yang dianalisis oleh masing-masing penulis tidak persis sama dan mempertimbangkan perbedaan dalam prosedur bedah. Berikut ini kesimpulan umum yang dicapai/diperoleh, (1) tidak ada pasien yang mengalami masalah pernapasan saat istirahat atau selama aktivitas fisik dari sudut pandang klinis. Beberapa pasien yang telah

menjalani prosedur transfer saraf phrenicus-interkostal multipel melaporkan adanya dispnea ringan yang berangsur-angsur membaik, pulih dalam waktu 1- 2 tahun⁶⁶; (2) beberapa parameter fungsi paru menunjukkan penurunan yang signifikan, terutama setelah transeksi dari saraf phrenicus kanan⁶⁴; (3) selain dari penurunan berkelanjutan ada kapasitas vital paksa (KVP), kapasitas paru total, dan kapasitas inspirasi yang mencerminkan beberapa gangguan ventilasi sekitar 8%⁶⁶ karena paralisis diafragma unilateral, semua parameter fungsi pulmonal lainnya kembali ke tingkat praoperasi 1 atau 2 tahun setelah operasi; dan (4) paralisis dan elevasi diafragma ipsilateral (1-1,5 ruang interkostal) yang dihasilkan dari transeksi phrenicus tampaknya menjadi permanen pada kebanyakan pasien^{65,66}, tetapi menurut beberapa penulis hal ini bersifat sementara.^{64,67}

Menurut Zhang *et al.* ada 3 kemungkinan penjelasan untuk mekanisme ventilasi terkompensasi setelah transeksi unilateral dari saraf phrenicus.⁶⁸ Pertama, kompensasi oleh saraf phrenicus aksesori mungkin terjadi. Kedua, serabut saraf dari C5 yang berkontribusi pada saraf phrenicus mungkin turun ke toraks sebelum bergabung dengan batang saraf Phrenicus, dan karena itu utuh ketika saraf phrenicus ditranseksi pada akar leher.⁵⁷ Ketiga, meskipun kontroversial, serat/ serabut saraf mungkin saling *cross-innervating* antara sisi kiri dan kanan diafragma, melibatkan baik serat saraf phrenicus dan intercostal.⁶⁹

Selain data ini, kita harus mempertimbangkan pengalaman pribadi Gu, yang mengembangkan teknik ini.⁶⁰ Setelah melakukan operasi pada lebih dari 500 pasien dan sebagian besar diikuti selama minimal 5 tahun, ia melihat tidak ada komplikasi paru mayor, dengan pengecualian pada kasus anak yang sebelumnya telah disebutkan.⁶⁰ Dari pengalamannya, batas bawah usia untuk prosedur yang aman adalah 5 tahun. Bahkan dengan semua informasi yang tersedia ini, masih ada kekhawatiran tentang fungsi paru. Menurut Terzis *et al*, saraf phrenicus harus jarang dikorbankan sepenuhnya.⁷⁰ Mereka menerbitkan serangkaian seri dari 5 pasien yang diterapi dengan transfer saraf phrenicus parsial ke saraf aksilaris (*end-to-side coaptation*), mencapai abduksi bahu rata-rata 41-101 derajat.

Dalam sebagian besar seri yang dipublikasikan, saraf phrenicus tidak dapat secara langsung ditransfer ke MCN/saraf muskulokutaneus pada asalnya dari *lateral cord*.^{63,71,72} Dalam pengalaman tersebut pada akhir diseksi, ada jarak sekitar 10 cm (kisaran 4,5-12 cm) antara dua saraf yang tersisa yang harus dijembatani dengan cangkok saraf. Untuk menghindari kerugian yang disebabkan oleh cangkok, teknik *video-assisted thoracic surgery* (VATS) dikembangkan untuk memanen saraf phrenicus di dalam rongga toraks.⁶²

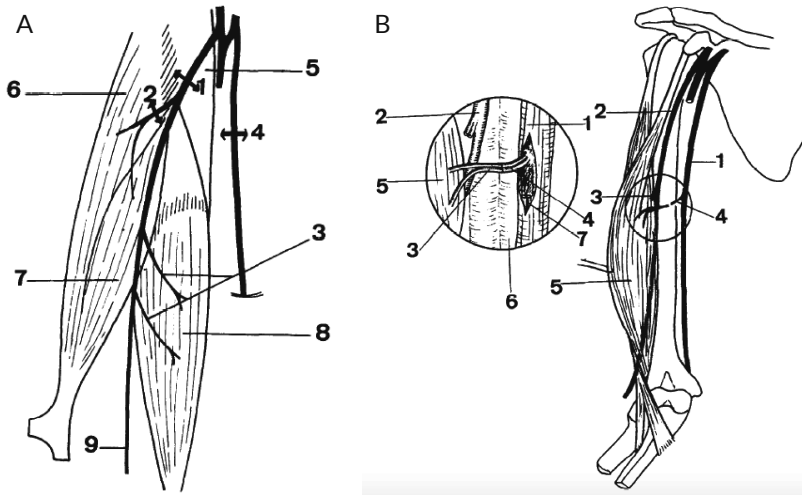
Panjang tambahan saraf donor yang disediakan oleh teknik ini selalu memungkinkan koaptasi yang bebas tegangan ke MCN. Menurut para penulis tersebut, tidak ada komplikasi berat dan penurunan fungsi pernapasan pada tahap awal setelah pembedahan adalah sama seperti yang diamati dengan menggunakan pendekatan tradisional. Ada dua keuntungan dari teknik ini, yaitu menghindari cangkok saraf dan reinervasi lebih awal dari otot biceps. Namun, penting untuk diingat bahwa *video-assisted thoracic surgery* (VATS) adalah prosedur yang membutuhkan keahlian secara teknis. Meskipun prosedur ini telah rutin dilakukan ahli bedah toraks, prosedur ini berpotensi menimbulkan komplikasi yang signifikan.⁷³

Tingkat pemulihan motorik yang efektif (MRC *grade* 3) telah dilaporkan dalam literatur untuk transfer saraf phrenicus ke MCN berkisar dari 29,4% hingga 100% dengan nilai rata-rata 77,7%.^{62,63,71} Angka-angka ini lebih baik dibandingkan dengan dua transfer saraf yang paling sering digunakan untuk merekonstruksi MCN, yaitu transfer saraf aksesori spinal dan saraf interkostal. Dalam 11 artikel yang melaporkan transfer saraf aksesori spinal ke MCN, tingkat MRC 3 atau lebih tinggi tercapai dengan tingkat rata-rata 64,5% (kisaran 44%-85%).^{24,74-75} Biasanya, dibutuhkan 9,5 bulan (rata-rata) untuk pemulihan fleksi siku ke tingkat M3⁶², tetapi beberapa penulis mengklaim bahwa diperlukan waktu yang lebih lama untuk mencapai level ini.⁷⁶

Selain pemulihan motorik yang baik, keuntungan lain dari transfer saraf frenik adalah tidak memerlukan latihan motorik khusus.⁷⁵ Hal ini telah diamati bahwa setelah beberapa waktu (biasanya dua tahun), fleksi siku volunter dapat dicapai tanpa adanya pernapasan simultan. Kesimpulannya, transfer saraf phrenicus adalah prosedur yang aman dan dapat memulihkan fungsi biceps dengan dampak minimal pada kinerja kardiopulmonal. Kandidat untuk prosedur ini harus pasien muda dengan lesi Pleksus Brakialis lengkap, cedera kurang dari enam bulan sebelumnya, tidak merokok, dan dengan fungsi kardiopulmonal praoperasi yang masih baik. Pasien harus menerima risiko kecil gangguan ventilasi. Terlepas dari bukti yang menunjukkan bahwa beberapa mekanisme kompensasi mengembalikan fungsi paru ke tingkat normal, masih ada beberapa kekhawatiran bahwa gejala simptomatik mungkin muncul seiring dengan proses penuaan.

Transfer saraf target terdekat (*close target nerve transfer*)

Oberlin pada tahun 1994 telah melakukan studi anatomis terhadap N. Musculocutaneous yang menginervasi otot biceps.⁷⁷ Didapatkan dua tipe distribusi cabang motorik dari dua caput biceps di antaranya pola 1 sebagai satu trunkus dan pola 2 sebagai 2 cabang yang terpisah. Pola pertama satu trunkus cabang motorik keluar dari N. Musculocutaneous sekitar 13 cm dari Acromion.⁷⁷ Cabang motorik tersebut terbagi menjadi 2, satu untuk Biceps caput brevis dan satu untuk Biceps caput longum. Sementara itu, cabang motorik yang lebih distal menuju otot brakialis, keluar dari N. Musculocutaneous sekitar 17 cm dari Acromion. Studi histologis yang membandingkan potongan melintang dari N. Musculocutaneous dan N. Ulnaris pada level cabang motorik yang masuk ke otot Biceps, menunjukkan bahwa serabut saraf yang menginervasi otot Biceps hanyalah 10% dari serabut saraf N. Ulnaris pada level yang sama.



Gambar 4.16

N. Musculocutaneus dengan kedua cabang motoriknya ke otot Biceps dan Brakialis. Transfer sebagian dari N. Ulnaris yang fungsional ke cabang motorik otot Biceps.

(A) 1. N. Musculocutaneus, 2. Cabang ke otot Biceps, 3. Cabang ke otot Brakialis, 4. N. Ulnaris, 5. Otot Coraco Brakialis, 6. Bisep caput brevis, 7. Biceps caput longum, 8. Otot Brakialis, 9. N. Cutaneous Antebrachii Lateralis.

(B) 1. N. Ulnaris, 2. N. Musculocutaneus, 3. cabang N. musculocutaneus ke otot Biceps, 4. Dua fasikel diambil dari N. Ulnaris, 5. Otot Biceps, 6. Terowongan Brakialis, 7. Epineurium N. Ulnar.⁷⁷

Pada aplikasi klinis dari empat pasien yang dilakukan fasikular nerve transfer, didapatkan kekuatan motorik M3 pada 1 pasien dan M4 pada 3 pasien lainnya. Rentang gerak sendi fleksi siku yang dapat dicapai adalah 0°-140°. Fasikel saraf motorik yang didonorkan tidak memberikan morbiditas kelemahan fungsi tangan.

Studi Oberlin telah memberikan inspirasi kepada banyak ahli bedah pleksus Brakialis, karena transfer saraf target terdekat merupakan prosedur yang memungkinkan koaptasi langsung dari saraf donor ke saraf resipien pada sisi yang lebih distal yang jelas lebih

dekat dengan *neuromuscular junction*.⁷⁷ Hal ini akan memungkinkan pencapaian pemulihan motorik yang lebih cepat. Prosedur transfer saraf target terdekat ini ditujukan untuk rekonstruksi saraf di luar fossa *supraclavicular* dan *infraclavikular*, seperti pada:

- Transfer N. Accesorius spinalis ke N. Suprascapularis lewat posterior.
- Transfer fasikel dari N. Ulnaris ke cabang motorik Biceps N. Musculocutaneous.
- Transfer fasikel N. Medianus ke cabang motorik Brakialis N. Musculocutaneous.
- Transfer cabang motorik Triseps caput longum N. Radialis ke N. Axillaris.
- Transfer N. Intercostal ke N. Musculocutaneous.
- Transfer N. Anterior Introseous N. Medianus ke N. Posterior Introseous N. Radialis
- Transfer cabang N Anterior Introseous ke cabang motorik profundus N. Ulnaris.

Pemilihan transfer saraf antara proksimal dan distal sebagai strategi dalam rekonstruksi saraf pada lesi Pleksus Brakialis hingga saat ini masih menjadi perdebatan. Transfer saraf proksimal (baik ekstrapleksal maupun intrapleksal) masih tetap menjadi prosedur utama rekonstruksi saraf (Tabel 4.6).

Pada transfer saraf, terdapat istilah latihan induksi (*Induction or motivation exercise*). Hal ini merupakan latihan otot yang penting pada prosedur transfer saraf. Latihan pada otot atau otot-otot yang diinervasi oleh saraf yang ditransferkan dimulai ketika otot baru yang diinervasi tersebut teraba kontraksinya (MI). Aksi ini dapat disamakan dengan *internal electrical stimulation*. Berbagai transfer saraf mempunyai latihan induksi masing masing (Tabel 4.7).

Tabel 4.6 Perbandingan Transfer Saraf Proksimal dan Distal ⁷⁸

	Transfer Saraf Proksimal	Transfer Saraf Distal
Filosofi	Tradisional	Strategi baru
Saraf donor	Proksimal dan <i>supraclavicular</i>	Target terdekat (di luar fosa supra dan <i>infraclavicular</i>)
Keuntungan	Untuk diagnosis dan terapi Saraf proksimal jauh lebih kuat Potongan saraf defisit fungsi lebih sedikit	Prosedur untuk terapi Tidak ada parut, diseksi lebih mudah Waktu operasi lebih pendek Biasanya dapat koaptasi langsung Waktu rehabilitasi lebih singkat dan pemulihan yang lebih cepat.
Kerugian	Diseksi yang lebih sulit Potongan saraf yang sulit diprediksi Memerlukan cangkok saraf yang lebih panjang & waktu operasi yang lebih lama Periode rehabilitasi yang lebih lama	Pemotongan saraf yang berisiko terjadinya defisit Risiko terjadinya Iatrogenik Perlu insisi yang lebih banyak
Indikasi	Semua jenis avulsi dan ruptur	Lesi parsial (single C5, avulsi C5-6, atau avulsi C5-7). Intrinsik palsy N. Medianus & Ulnaris

Tabel 4.7 Latihan Induksi pada Transfer Saraf⁷⁸

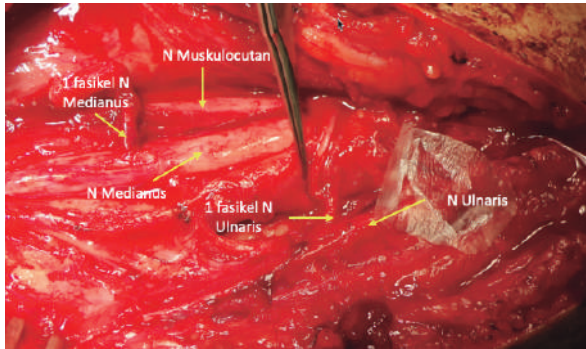
Saraf Donor	Latihan Induksi
N. Intercostal	Latihan aerobik (lari, jalan, panjat tebing) untuk merangsang induksi napas dalam
N. Phrenicus	Latihan aerobik
N Accesorius Spinalis	Latihan menggerakkan bahu ke atas dan belakang dengan tahanan
Contralateral C7	Latihan adduksi bahu dan tangan menggenggam pada sisi donor
N. Ulnaris dan Medianus Parsial	Latihan menggenggam tangan

Songcharoen P telah menggunakan teknik Oberlin seperti tersebut di atas terhadap lesi Pleksus Brakialis tipe avulsi akar saraf C5, C6 pada 40 pasien.³⁷ Sebanyak 24 pasien telah dievaluasi lebih dari dua tahun dan didapatkan 87,5% pasien mencapai kekuatan M3 atau lebih. Pemulihan kekuatan M3 dicapai dalam waktu 7,1 bulan. Kekuatan fleksi siku bervariasi antara 1 - 6 kg. Pascaoperasi terjadi morbiditas pada 6 pasien (17%) yaitu adanya deformitas *clawing* pada tangan disertai penurunan kekuatan menggenggam dan memegang benda kecil, namun mengalami pemulihan secara penuh selama 13 bulan. Tiga pasien mengalami parasthesis pada dermatome N. Ulnaris yang secara bertahap pulih dalam kurun waktu 3 bulan. Kelebihan utama dari prosedur ini adalah pemulihan motorik yang relatif cepat karena transfer dilakukan pada jarak yang dekat dengan otot target (dalam beberapa sentimeter terhadap otot biseps) dan tidak memerlukan cangkok saraf lagi. Pemilihan fasikel dari N. Ulnaris terutama ditujukan pada fasikel motorik yang menginervasi Flexor Carpi Ulnaris (FCU), karena akan meminimalisasi terjadinya morbiditas dari saraf donor. Pada studi sebelumnya telah dilakukan transfer fasikel dari N. Medianus yang ditransferkan ke cabang motorik Biseps terhadap 15 pasien dengan avulsi akar saraf C5 dan C6 lesi Pleksus Brakialis. Evaluasi minimal dua tahun terhadap 10 pasien didapatkan 80% dari pasien tersebut mencapai kekuatan motorik M3 atau lebih. Rata-rata waktu yang diperlukan untuk mencapai M3 adalah 8 bulan. Morbiditas pascaoperasi dialami pada 4 pasien yang mengalami parastesi pada dermatome N. Medianus, dan 1 pasien mengalami kelemahan M3 pada Flexor Digitorum Profundus dan Superficial (FDP & FDS), Flexor Pollicis Longus (FPL), dan Abduktor Pollicis Brevis (APB). Kelemahan tersebut secara bertahap mengalami pemulihan hingga M4 selama 18 bulan.³⁷

Studi retrospektif telah dilakukan penulis terhadap 29 pasien lesi Pleksus Brakialis yang dioperasi dengan teknik transfer saraf prosedur modifikasi Oberlin (dengan saraf donor 1 fasikel dari N. Ulnaris dan 1 fasikel dari N. Medianus) untuk rekonstruksi fleksi siku. Perbandingan dilakukan terhadap kelompok I, yang dioperasi sebelum 6 bulan sejak

kejadian cedera (n=17) dan kelompok II, yang dioperasi sesudah 6 bulan namun tidak lebih dari 12 bulan. Waktu evaluasi dilakukan minimal satu tahun untuk menilai rentang gerak sendi (*Range of Motion/ROM*) siku dengan alat ukur goniometer dan kekuatan motorik fleksi siku dengan skala *Medical Research Council* (MRC). Hasil rata-rata rentang gerak sendi siku sebelum 6 bulan dan sesudah 6 bulan adalah 120,00° dan 112,92° (p=0,609). Rentang gerak sendi fleksi siku pada kelompok sebelum 6 bulan didapatkan lebih besar, tetapi tidak berbeda secara bermakna. Kekuatan motorik fleksi siku pada kelompok sebelum 6 bulan adalah sebagai berikut, 1 pasien (5,9%) mencapai MRC 2, 5 pasien (29,4%) mencapai MRC 3, dan 11 pasien (64,7%) mencapai MRC4. Kekuatan motorik fleksi siku pada kelompok sesudah 6 bulan adalah sebagai berikut, 2 pasien (16,7%) mencapai MRC 2, 3 pasien (25%) mencapai MRC3, dan 7 pasien (58,3%) mencapai MRC4. Kekuatan motorik fleksi siku pada kelompok sebelum 6 bulan didapatkan lebih baik dibandingkan dengan kelompok sesudah 6 bulan, namun secara statistik tidak bermakna.

Studi analitik retrospektif observasional terhadap pasien lesi Pleksus Brakialis telah dilakukan di RSUD Dr. Soetomo Surabaya mulai 1 Januari 2010- 31 Januari 2017 yang dilakukan operasi neurektomi dan transfer saraf. Data primer didapatkan dengan melakukan evaluasi klinis dan data sekunder didapatkan dari rekam medik. Terdapat 73 pasien yang terbagi dalam kelompok neurektomi 31 pasien dan kelompok transfer saraf 42 pasien. Evaluasi klinis dilakukan minimal setelah satu tahun dan penilaiannya meliputi rentang gerak sendi (ROM) dan kekuatan otot menurut skala MRC terhadap pergerakan abduksi bahu dan fleksi siku. Penilaian aktivitas hidup keseharian dilakukan dengan menggunakan *DASH Score*. Hasilnya dapat dilihat sebagai berikut; rata-rata ROM abduksi bahu pada kelompok neurektomi adalah 64,39° dan kelompok transfer saraf adalah 83,28° (p=0,141). Sementara itu kekuatan otot abduksi bahu berdasarkan skala MRC adalah 2,73 pada kelompok neurektomi, dan 2,72 pada kelompok transfer saraf (p= 0,960). Target prioritas fleksi siku didapatkan ROM rata-rata adalah 109,2° pada kelompok transfer



Gambar 4.17

Modifikasi Prosedur Oberlin, dobel fasikular transfer saraf yaitu 1 fasikel N. Medianus ke cabang motorik Biceps N. Musculocutaneous dan 1 fasikel N. Ulnaris ke cabang motorik Brakialis N. Musculocutaneous. (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

saraf dan $88,75^\circ$ pada kelompok neurolisis ($p=0,063$). Kekuatan otot fleksi siku berdasarkan skala MRC adalah 3,37 pada kelompok transfer saraf dan 3,06 pada kelompok neurolisis ($p=0,285$). Hasil evaluasi aktivitas hidup keseharian berdasarkan *DASH Score* adalah 61,11 pada kelompok transfer saraf dan 52,84 pada kelompok neurolisis ($p=0,157$). Prosedur tindakan neurolisis dan transfer saraf pada lesi Pleksus Brakialis walaupun menunjukkan kemiripan dalam hasil fungsionalnya, tetapi sesungguhnya kedua teknik bedah tersebut mempunyai indikasi yang berbeda tergantung pada patologi kerusakan saraf dari Pleksus Brakialis tersebut. Pengambilan keputusan dalam menentukan jenis tindakan bedah mikro pada lesi Pleksus Brakialis tentunya tergantung pada mekanisme trauma yang menyebabkan lesi Pleksus Brakialis, lama waktu dari kejadian trauma hingga operasi, derajat kerusakan saraf, maupun level cedera yang terjadi pada Pleksus Brakialis tersebut.

4.4 *Free Functioning Muscle Transfer (FFMT)* pada lesi Pleksus Brakialis

Free Functioning Muscle Transfer (FFMT) adalah sebuah teknik bedah mikroneurovaskular yang ditujukan untuk pasien yang mengalami cedera saraf dan otot dengan disertai hilangnya fungsi sebagian atau seluruh kelompok otot fungsional atau denervasi otot dan pada kondisi di mana tidak ada unit donor muskulotendineus lokal yang tersedia.

FFMT telah berhasil diaplikasikan secara klinis pada kasus lesi Pleksus Brakialis pada dewasa, lesi Pleksus Brakialis pasca kelahiran, *facial palsy*, iskemia *Volkman* berat, cedera *crushing*, dan traksi berat pada lengan atas maupun lengan bawah dengan cedera/kerusakan berat pada sebagian besar otot atau saraf, amputasi avulsi anggota/alat gerak tubuh di mana replantasi telah dilakukan tanpa dilakukan perbaikan pada saraf/*nerve repair*, tangan spastik berat, dan kelainan kongenital (seperti *arthrogryposis*). Pengaplikasian FFMT untuk trauma dengan kerusakan berat pada jaringan lunak dan saraf, atau pascareplantasi anggota gerak tubuh, *neurotizer* yang digunakan selalu berasal dari saraf motorik induk asalnya (sebagai contoh FFMT dengan inervasi saraf muskulokutaneus untuk penggantian otot *biceps*, FFMT dengan inervasi saraf *interosseous anterior* (AIN) untuk fleksi jari dan FFMT dengan inervasi saraf *interosseous posterior* (PIN) atau radialis untuk ekstensi jari atau penggantian). Aplikasi FFMT pada kasus lesi Pleksus Brakialis dewasa dan lesi Pleksus Brakialis pasca kelahiran, saraf motorik induk asal mengalami denervasi akibat avulsi dari akar saraf proksimal. Neurotizer yang digunakan pada kondisi seperti ini dapat berasal dari transfer saraf terdekat atau transfer saraf dari sisi kontralateral.

Prosedur tindakan dapat dilakukan baik satu, maupun dua tahap, yaitu pemanjangan saraf proksimal dengan transfer atau cangkok saraf pada tahap pertama dan diikuti dengan FFMT pada tahap kedua. Indikasi dilakukannya transfer saraf dengan FFMT hampir selalu disebabkan oleh gagalnya rekonstruksi saraf atau avulsi akar saraf kronis (telah berlangsung lebih dari setahun sejak cedera). FFMT

terkadang juga digunakan pada kasus cedera avulsi Pleksus Brakialis akut untuk meningkatkan hasil akhir fungsional dari rekonstruksi saraf. Sebagai contoh, lima saraf interkostalis (ICN) dipanen, tiga untuk neurotisasi saraf muskulokutaneus dan dua sisanya untuk neurotisasi tambahan pada FFMT untuk meningkatkan fungsi fleksi siku pada kasus lesi Pleksus brakialis yang terlambat, sekitar 6-12 bulan bahkan lebih setelah cedera.

Fungsi yang dipulihkan termasuk fleksi siku; ekstensi jari (ekstensor digitorum communis [EDC] dan extensor pollicis longus [EPL]); fleksi jari (fleksor digitorum profundus [FDP] dan fleksor pollicis longus [FPL]); ekstensi siku; dan penggantian otot deltoid. Saraf donor yang ditransfer dan digunakan sebagai neurotizers otot, antara lain saraf interkostalis, saraf XI, saraf cervicalis C7, fasikel saraf ulnaris, fasikel saraf medianus, dan saraf phrenicus.

Prinsip umum untuk transfer saraf dengan FFMT:

1. Prinsip-prinsip FFMT mengenai pemilihan pasien, pemilihan otot, inset otot pada tegangan optimal, saraf motorik yang dipilih, dan rehabilitasi pascaoperasi semuanya identik dengan deskripsi terdahulu oleh Doi *et al* (1991), dan Chuang (1995).^{44,59}
2. Prinsip-prinsip transfer saraf identik dengan yang telah dijelaskan oleh Chuang (1995).⁵⁹
3. Transfer saraf dengan FFMT digunakan terutama untuk pemulihan fungsional, bukan untuk penutupan luka. Oleh karena itu, transfer saraf dengan FFMT cocok untuk kasus elektif dengan persiapan yang baik, bukan untuk kasus-kasus cedera akut.
4. Indikasi lebih kuat pada kasus kronis (lebih dari satu tahun setelah cedera). Transfer saraf dengan FFMT dapat juga diterapkan secara bertahap ketika saraf motorik induk asal tidak tersedia, sehingga memerlukan C7 kontra lateral.
5. Jahitan saraf langsung tanpa ketegangan selalu lebih unggul daripada jahitan saraf tidak langsung dengan cangkok saraf, prinsip umum yang sama juga berlaku pada transfer saraf

reguler dan FFMT reguler. Cabang motorik saraf untuk otot yang akan dipindahkan dan saraf motorik penerima/resipien harus dipisahkan sepanjang mungkin untuk memudahkan penyambungan saraf secara langsung. Jika transfer saraf proksimal jauh dari daerah otot yang ditransfer, maka akan lebih baik untuk beralih ke prosedur dua tahap, yaitu dengan cangkok saraf awal dari saraf donor proksimal pada tahap pertama, diikuti oleh FFMT pada tahap kedua untuk restorasi fungsional.

6. Kesehatan saraf motorik yang telah dineurotisasi merupakan faktor penentu keberhasilan dari FFMT ini.
7. Transfer saraf ipsilateral selalu lebih unggul daripada transfer saraf kontralateral.
8. Semua pasien yang telah menerima FFMT dengan transfer saraf memerlukan latihan induksi pada fase rehabilitasi setelah operasi. Motivasi dan kerja sama pasien adalah faktor penting untuk keberhasilan terapi. Setelah otot mencapai kekuatan MI, yaitu ketika menekan otot dan menyebabkan nyeri dada dalam kasus transfer saraf interkostalis, sesak pada kasus transfer saraf phrenicus, atau rasa kesemutan pada jari-jari kontralateral pada kasus transfer saraf C7, maka latihan induksi harus dimulai. Beberapa latihan digunakan untuk menginduksi otot yang telah direinervasi. Setelah transfer saraf phrenicus atau interkostalis, pasien diarahkan dan didorong untuk berlari, berjalan, atau mendaki bukit (2 km sehari). Setelah transfer saraf Accessorius (N. XI), gerakan elevasi atau retraksi bahu ke belakang tahanan dianjurkan dilakukan 1000 kali per hari. Setelah transfer saraf Cervicalis C7, latihan adduksi bahu kontralateral tahanan dianjurkan dilakukan 1000 kali per hari. Latihan-latihan ini merupakan re-edukasi otot. Realisasi dari latihan ini sangat penting, karena hasil yang baik biasanya dicapai oleh pasien yang secara psikologis kuat dan mau bekerja sama penuh dalam program rehabilitasi mereka, sedangkan hasil yang buruk sering didapatkan oleh pasien yang malas atau tidak kooperatif.

Otot mengalami perubahan dengan denervasi. Meskipun transeksi saraf akan menyebabkan perubahan pada saraf dan otot, akan tetapi saraf tidak membatasi pemulihan fungsional, sedangkan otot dengan cepat kehilangan kemampuan untuk direinervasi.⁷⁹ Perubahan biokimia, morfologis, dan fisiologis yang terjadi pada serat otot yang telah mengalami denervasi telah dijelaskan dengan baik dan termasuk atrofi otot yang diikuti oleh disorganisasi progresif dari jaringan seiring berjalannya waktu.⁸⁰ Pada otot manusia, atrofi menyebabkan pengurangan diameter serat otot sebesar 50% setelah 2 hingga 3 bulan denervasi.⁸¹ Setelah empat bulan, proses atrofi melambat dan relatif stabil selama beberapa bulan. Penurunan *resting membrane potential* adalah tanda paling awal dari denervasi otot,⁸² peningkatan sensitivitas *extrajunctional membrane* terhadap asetilkolin,⁸³ yang terjadi setelah 5 hingga 10 hari. Setelah 10-21 hari denervasi, kontraksi spontan muncul pada tiap serat otot. *Fibrillation potentials* bertahan selama serat otot tetap ada, tetapi sulit untuk dideteksi setelah satu tahun. Meskipun otot denervasi awalnya merespons terhadap reinervasi dengan peningkatan reseptor asetilkolin, sekali terminal saraf intramuskular menghilang dan ultrastruktur otot dihancurkan, otot tidak lagi merespons regenerasi saraf. Perubahan morfologis dan struktural akibat denervasi termasuk peningkatan relatif pada *sarcolemmal nuclei* diikuti dengan menghilangnya *striae* otot pada akhir tahun pertama. Fragmentasi serat otot dan disintegrasi selesai setelah dua tahun dengan digantikan oleh sel-sel lemak.

Masalah utama yang dihadapi ahli bedah Pleksus Brakialis adalah berbulan-bulan waktu regenerasi saraf yang diperlukan sebelum reinervasi dapat dilakukan ketika pengobatan tertunda atau di otot distal bahkan dengan perawatan yang cepat. Mengingat bahwa tingkat regenerasi akson bervariasi dari 1 -2,5 mm per hari pada manusia, otot yang berjarak 50 cm atau lebih dari lokasi lesi tidak terinervasi kembali selama satu tahun atau lebih. Alasan lain *functioning free muscles* digunakan adalah karena pada umumnya tidak memadainya jumlah saraf proksimal yang tersedia untuk mengontrol berbagai fungsi yang diinginkan untuk fungsi bahu, siku, pergelangan tangan,

dan tangan karena semua saraf donor ekstrapleksal hanya dapat dihubungkan kembali di lokasi proksimal, saraf motor distal tidak dapat kembali berfungsi dengan baik karena reinervasi yang terlambat. Mengingat bahwa tingkat regenerasi saraf terbatas, fungsi itu tidak dapat dipulihkan ke bahu atau siku ketika pengobatan tertunda, dan fungsi tangan tidak dapat dipulihkan kecuali pada sebagian kecil kasus dengan transfer saraf, solusi lain diperlukan. Di masa depan, dokter mungkin dapat mempertahankan morfologi dan ultrastruktur dari otot yang telah mengalami denervasi, menempatkan cangkok saraf langsung ke sumsum tulang belakang, dan meningkatkan laju regenerasi aksonal dengan pesat. Karena kemajuan ini belum tersedia, solusi lain diperlukan jika dokter ingin mengembalikan fungsi tangan memegang. Transfer otot yang sehat dan normal ke ekstremitas yang lumpuh memberikan kesempatan.

Pemilihan otot donor pada FFMT untuk tujuan tertentu harus memiliki kekuatan dan ekskursi yang sebanding dengan otot yang lumpuh atau otot yang akan digantikan dan dapat digerakkan sesuai kehendak. Kualitas lain yang diperlukan adalah suplai darah yang adekuat melalui sebuah pembuluh darah tunggal dan terdapatnya sebuah saraf motorik tunggal yang memungkinkan untuk reinervasi melalui transfer saraf langsung. Penting juga bahwa otot dapat diambil dari tempat donornya. Artinya, otot yang dipanen seharusnya tidak menyebabkan hilangnya fungsi yang signifikan. Meskipun beberapa otot telah digunakan untuk tujuan fungsional, otot rektus femoris dan gracilis adalah yang paling sering digunakan. Otot-otot lain juga telah digunakan untuk indikasi Pleksus Brakialis, termasuk latissimus dorsi, pektoralis mayor, dan tensor fascia lata. Pemilihan otot dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa parameter, termasuk kapasitas kekuatan, ekskursi, serta anatomi pembuluh darah dan saraf otot.

Dalam pemilihan otot donor, sangat penting untuk membandingkan luas penampang dari donor yang umum digunakan dengan resipien, dalam hal ini otot biseps. Letak origo dan insersio otot serta jarak dari pusat rotasi sendi juga merupakan faktor penting untuk dipertimbangkan. Otot gracilis yang paling sering digunakan

dan disusul otot latissimus yang masih kurang cocok dengan otot biseps berdasarkan perbandingan luas penampang mereka dengan fleksor siku, sedangkan rektus femoris merupakan otot yang paling cocok untuk kekuatan tetapi tidak dengan ekskursinya. Pengalaman menunjukkan bahwa baik otot gracilis maupun latissimus dapat memberikan kekuatan yang masih dapat diterima. Hasil yang memuaskan pada transfer gracilis untuk fungsi siku, dilaporkan oleh banyak penulis, bertentangan dengan ekspektasi yang dibuat berdasarkan perbandingan ukuran anatomi otot tersebut. Tampaknya otot yang biasa digunakan dapat memberikan kekuatan yang dapat diterima untuk berfungsi dikarenakan panjang yang luar biasa, adanya pedikel neurovaskular yang proksimal, dan tendon distal yang sangat baik, otot gracilis telah menjadikannya pilihan yang lebih disukai dari sebagian besar penulis. Kebutuhan ekskursi untuk fungsi tangan berkisar dari sekitar 3 cm untuk fleksi atau ekstensi pergelangan tangan hingga sekitar 7 cm untuk fleksi jari. Ekstensi jari adalah perantara untuk nilai-nilai ini. Sebagai perbandingan, rata-rata panjang serat saat istirahat otot gracilis adalah 26 cm, otot latissimus berkisar antara 23-28 cm, dan otot rektus femoris sepanjang 8 cm.

Faktor-faktor lain berperan dalam pemilihan otot, yang paling penting adalah kualitas dari tendon distal, proksimal, anatomi saraf pembuluh darah dan motorik serta anatomi vaskular yang relevan dengan otot pada *free-muscle* transfer. Menurut klasifikasi mereka, otot dengan pedikel vaskular tunggal (tipe I) atau otot dengan pedikel vaskular dominan dengan beberapa cabang minor (tipe II) atau pedikel segmental sekunder (tipe V), dapat ditransfer dengan harapan otot tetap dapat bertahan hidup. Gracilis yang paling sering digunakan adalah otot tipe II, sedangkan rektus femoris tipe I dan latissimus dorsi tipe IV.

Persyaratan pasien untuk *functioning free-muscle transfer* seperti dalam prosedur yang kompleks, tidak semua pasien adalah kandidat yang baik untuk rekonstruksi. Pasien harus memiliki cukup motivasi untuk melakukan operasi semacam itu tetapi juga harus dapat bertanggung jawab atas rehabilitasi ekstensif yang akan diperlukan

selama dua tahun berikutnya. Membantu pasien untuk memahami prinsip dari prosedur dan perawatan perioperatif maupun pascaoperasi yang diperlukan sebelum prosedur dilakukan, membutuhkan waktu yang cukup lama di pihak tim bedah, tetapi langkah-langkah ini penting jika pasien ingin berpartisipasi dalam perawatannya.

Stabilitas dan keseimbangan sendi proksimal juga membantu dalam mendapatkan hasil yang baik. Pada kasus pleksus, stabilitas bahu penting. Penelitian terbaru membandingkan efektivitas fungsi memegang pasien yang telah mendapat transfer *free-muscle* ganda tanpa rekonstruksi bahu dibandingkan dengan mereka yang dilakukan reinervasi otot pada *shoulder girdle* atau glenohumeral arthrodesis. Para penulis menyimpulkan bahwa fungsi bahu penting untuk mencapai fungsi memegang pada pasien dengan kelumpuhan penuh dari fungsi brakialis dan menjalani transfer *free-muscle* ganda. Penutup dan dasar kulit yang adekuat untuk meluncurnya tendon penting supaya otot berfungsi normal. Jika otot digunakan untuk menutup jaringan lunak dan fungsi seperti yang terkadang digunakan pada kasus cedera ekstremitas atas yang masif dengan lesi Pleksus Brakialis, resultan ekskursi yang dihasilkan otot dapat terbukti tidak cukup untuk ruang gerak sendi fungsional.

Saraf motorik yang dapat digunakan di sekitar pedikel neurovaskular otot harus ada untuk menyediakan inervasi untuk pergerakan. Saraf ekstrapleksal yang biasanya digunakan antara lain, N. Accessorius, N. Interkostalis, dan N. Phrenicus. Evaluasi fungsi trapezius dengan pemeriksaan mengangkat bahu, dibandingkan dengan sisi berlawanan, dan dengan elektromiografi (EMG) diperlukan jika direncanakan penggunaan N. Accessorius. Demikian pula, radiografi Thoraks antero posterior saat inspirasi maupun ekspirasi, perkusi dada untuk ekskursi diafragma, dan tes fungsi paru sebelum operasi harus diperoleh sebelum saraf phrenicus dipilih. Saraf interkostalis mungkin telah terluka pada cedera dinding dada yang umumnya terkait dengan trauma pleksus. Ronsen dada, EMG, dan evaluasi langsung saraf interkostalis saat operasi dengan stimulasi

saraf harus dilakukan sebelum melanjutkan dengan pengambilan otot.

Vaskulatur lokal harus cukup untuk keberhasilan perbaikan mikrovaskular. Diperlukan pemeriksaan fisik yaitu berdasarkan inspeksi ada tidaknya bekas luka pada daerah otot gracillis, serta pulsasi nadi perifer untuk memberikan informasi yang cukup untuk perencanaan praoperatif sebelum transfer *free-muscle*. Untuk mencegah kejadian yang tidak diinginkan, termasuk potensi kehilangan dari otot yang ditransfer selama periode perioperatif, bila perlu dilakukan pemeriksaan *magnetic resonance angiogram* (MRA) atau studi angiografi konvensional adalah bagian penilaian praoperatif penulis untuk semua pasien yang direncanakan *functioning free-muscle transfer*.

Insiden avulsi arteri aksilaris atau subklavia telah dilaporkan setinggi 10% hingga 25% terutama dalam kaitannya dengan tulang rusuk pertama dan fraktur ekstremitas lainnya. Kadang-kadang, dinding pembuluh dari pembuluh paten mungkin menebal, atau cabang terminal, seperti trunkus Thorako Akromial dapat menunjukkan cedera substansial bahkan ketika pasokan vaskular utama ke ekstremitas masih utuh. Dalam keadaan seperti itu, dokter harus siap untuk mencari solusi alternatif untuk suatu anastomosis yang terencana.

Penggunaan *free-muscle transfer* untuk indikasi Pleksus Brakialis paling sering digunakan dalam dua situasi berikut, (1) *free-muscle* digunakan untuk pemulihan fleksi siku saja pada pasien yang datang terlambat tanpa alternatif lain; dan (2) pada pasien yang datang dalam 6 bulan setelah cedera, *free-muscle transfer* sering dilakukan dalam kombinasi dengan cangkok saraf dan/atau transfer saraf. Transfer otot tunggal atau ganda digunakan dalam hal ini. Rekonstruksi semacam ini membutuhkan pemahaman menyeluruh atas semua kemungkinan pilihan rekonstruksi dan prioritas fungsional untuk fungsi motorik.

Secara umum, fleksi siku membawa prioritas tertinggi, diikuti oleh stabilitas atau gerakan bahu, fungsi memegang, sensibilitas tangan, dan fungsi intrinsik. Ketersediaan beberapa saraf untuk transfer dapat memberikan hasil yang lebih dapat diandalkan atau fungsional bila dikombinasikan dengan *free-muscle* yang digunakan untuk menyediakan animasi untuk fungsi memegang dan melepaskan dari tangan.

Transfer gracilis tunggal pada *Free functioning muscle transfer* memberikan fleksi siku yang lebih baik pada kasus di mana penundaan penanganan membuat tidak mungkin dilakukannya *graft* langsung atau neurotisasi biseps dan kekuatan otot proksimal tidak cukup untuk memungkinkan transfer tendon. Transfer tunggal juga terbukti dapat berguna untuk fungsi lain, termasuk abduksi bahu, ekstensi siku, atau fleksi jari. Dalam pengalaman penulis, 79% dari *free-functioning muscle transfer* otot gracilis untuk fleksi siku saja (transfer tunggal) mencapai setidaknya M4 untuk kekuatan fleksi siku.

Transfer ganda otot gracilis Doi *et al* telah mendeskripsikan suatu metode untuk memberikan stabilitas dan fungsi bahu yang dikombinasikan dengan fleksi dan ekstensi aktif sendi siku, sensibilitas tangan, serta fungsi memegang dan melepas yang belum sempurna pada pasien dengan avulsi empat atau lima akar saraf.⁴³

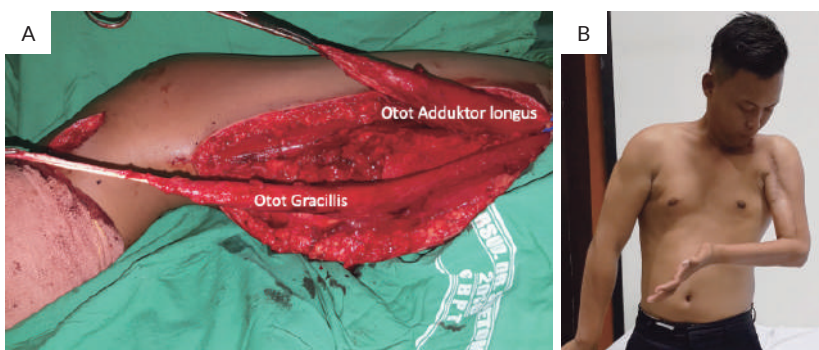
Free Functioning Muscle Transfer ganda memiliki keuntungan dari sisi panjang otot gracilis dan lokasi proksimal dari pedikel neurovaskular untuk mendukung reinervasi segera dari otot sambil memungkinkan fungsi sendi distal. Sebuah neurotisasi langsung dari saraf aksesoris spinal ke otot gracilis yang terfiksasi ke klavikula dapat menghasilkan fleksi siku dan ekstensi jari atau pergelangan tangan (Gambar 4.18), sedangkan transfer kedua, difiksasikan ke tulang rusuk kedua dan dineurotisasi ke saraf interkostalis untuk fleksi jari.

Penggunaan kreatif dari saraf interkostalis tambahan untuk fungsi trisep dan neurotisasi sensorik pada tangan yang memungkinkan fleksi/ekstensi siku secara independen dan memegang/melepas tangan jika semua komponen prosedur berhasil (Gambar 4.19). Teknik bedah *free functioning muscle transfer* adalah prosedur pembedahan



Gambar 4.18

Free Functioning Muscle Transfer dari donor Gracillis untuk rekonstruksi fungsi fleksi siku dan ekstensi pergelangan tangan. (A) Pengambilan otot Gracillis sebagai donor untuk FFMT. (B) Transfer gracilis tunggal pada FFMT dengan perlekatan proksimal pada Klavikula dan (C) perlekatan distal pada tendon ECRB berguna bukan hanya fleksi siku tetapi juga (D) fleksi bahu dan ekstensi pergelangan tangan. (Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4.19

Double FFMT untuk rekonstruksi fleksi siku dan fleksi jari-jari tangan (A) Pengambilan otot donor Gracillis dan Adduktor Longus. (B) Fleksi siku dan fleksi jari jari tangan sekaligus. (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

yang panjang dan persiapan pasien dengan hati-hati itu penting. *Padding*/bantalan pelindung dan pemosisian yang memadai untuk melindungi penonjolan tulang dan pemaparan/ekspos yang adekuat dari situs donor dan resipien/penerima sangat penting. Pemeliharaan suhu inti tubuh memfasilitasi perfusi jaringan perifer. Penggunaan penghangat cairan, kontrol suhu sekitar, penutup kulit yang terpapar, dan penggunaan alat-alat penghangat harus dimulai ketika pasien memasuki ruang operasi dan berlanjut sesuai kebutuhan selama prosedur.

Diseksi awal dilakukan pada resipien, umumnya sebelum diseksi dari otot donor yang mungkin dilakukan. Jika jaringan lunak dan kulit dalam kondisi baik, penilaian awal dari area resipien menentukan apakah secara mekanis memungkinkan sebagai tempat dilekatkannya origo otot dan untuk memastikan tempat insersi distal yang memungkinkan, umumnya insersi otot disisipkan pada tendon yang memberikan gerakan yang diinginkan.

Verifikasi bahwa pembuluh darah dan saraf motorik area resipien tidak rusak adalah penentu utama terakhir. Penulis terkini dan yang lain di lembaganya lebih suka menggunakan trunkus thoracoacromial untuk anastomosis pembuluh darah *free-muscle* untuk fleksi siku atau gabungan fleksi siku dan ekstensi pergelangan tangan/jari, seperti yang dijelaskan oleh Doi *et al.*⁴³ Pembuluh darah thoracodorsal digunakan ketika *free-muscle* ditransfer untuk fleksi jari.

Saraf assesoris spinal atau saraf motor interkostalis memberikan fungsi saraf yang dapat diterima dan saraf phrenicus tetap menjadi pilihan alternatif ketika seperti biasanya terjadi, tidak ada saraf plexal yang tersedia. Rekonstruksi bertahap dengan C7 kontralateral juga telah dijelaskan, tetapi hanya hasil awal yang telah dilaporkan. Penulis tidak memiliki pengalaman dengan metode ini. Setelah koneksi saraf dan vaskular dibedah dan terverifikasi adekuat, panen otot dimulai. Penting untuk meminimalkan waktu iskemik otot dengan persiapan yang hati-hati dari pembuluh darah di lokasi resipien, termasuk pencegahan atau koreksi vasospasme dengan vasodilator topikal dan verifikasi dari aliran darah keluar yang adekuat sebelum suplai

darah otot terputus saat dipanen. Mikroskop dan klem vaskular harus di tempat dan titik origo dan insersi otot terekspose dan siap untuk reparasi segera sebelum transfer otot. Diseksi saraf resipien/penerima harus semaksimal mungkin panjangnya dan panjang saraf motor donor yang mungkin diperlukan harus ditentukan untuk memastikan bahwa tidak ada graf interposisi yang diperlukan. Di lokasi donor, setiap upaya dilakukan untuk memaksimalkan panjang pembuluh darah dan saraf karena kelebihan jaringan mudah diatasi, tetapi pembuluh darah atau saraf yang tidak memadai tidak dapat diperbaiki dengan mudah. Penulis juga lebih suka memanen semua otot termasuk flap kulit untuk tujuan pemantauan.

Studi perbandingan hasil fungsional dari transfer saraf dan FFMT dalam merekonstruksi fleksi siku pada pasien lesi Pleksus Brakialis telah dilakukan. Tujuan dari studi ini adalah, (1) untuk menentukan data demografik dari transfer saraf dan FFMT pada pasien lesi Pleksus Brakialis, (2) untuk membandingkan kekuatan otot fleksi siku dari transfer saraf dan FFMT pada pasien lesi Pleksus Brakialis, (3) untuk membandingkan rentang gerak sendi fleksi siku dari transfer saraf dan FFMT pada pasien lesi Pleksus Brakialis. Studi retrospektif telah dilakukan terhadap 120 pasien lesi Pleksus Brakialis yang dilakukan pembedahan oleh penulis dengan evaluasi minimal satu tahun. Rekonstruksi fungsi fleksi siku terhadap pasien tersebut dilakukan dengan transfer saraf pada 58 pasien dan FFMT pada 62 pasien. Evaluasi fungsi fleksi siku dilakukan dengan mengukur kekuatan otot berdasarkan skala BMRC dan mengukur rentang gerak fleksi siku aktif dengan menggunakan goniometer. Distribusi jenis kelamin dan usia dari kelompok transfer saraf dan kelompok FFMT pada studi ini adalah sama. Distribusi jenis kelamin kelompok transfer saraf adalah 81% laki-laki dan 19% perempuan, sementara itu kelompok FFMT adalah 80,6% laki-laki dan 19,4% perempuan. Rata-rata usia kelompok transfer saraf adalah $26,69 \pm 10,48$ tahun dan kelompok FFMT adalah $26,37 \pm 9,51$ tahun ($p=0,904$). Rerata lama waktu evaluasi pada kelompok transfer saraf dan kelompok FFMT adalah $56,26 \pm 27,16$ bulan dan $31,81 \pm 14,32$ bulan secara berurutan

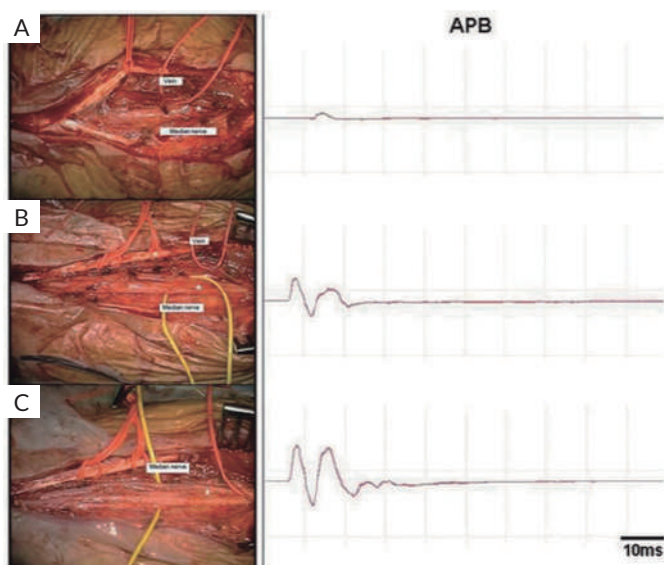
($p=0,000$). Rerata rentang gerak fleksi siku pada kelompok transfer saraf dan kelompok FFMT adalah $102,33\pm 43,67^\circ$ dan $87,34\pm 42,32^\circ$ secara berurutan ($p=0,015$). Rerata kekuatan motorik fleksi siku pada kelompok transfer saraf dan kelompok FFMT berdasarkan skala MRC adalah $3,14\pm 1,16$ dan $3,00\pm 1,01$ secara berurutan ($p=0,165$).

4.5 Neurolisis pada Lesi Pleksus Brakialis

Cedera saraf perifer dapat menyebabkan disfungsi mikrovaskular lokal, terjadi perubahan struktur dalam saraf itu sendiri maupun jaringan sekitarnya. Pasien akan mengeluhkan adanya nyeri, hilangnya fungsi motorik dari otot-otot dan fungsi sensoris dari dermatoma kulit sesuai dengan saraf yang menginervasinya. Dekompresi dan neurolisis merupakan salah satu teknik bedah yang terbukti efektif dalam pemulihan fungsi dari saraf perifer yang terganggu setelah cedera.⁸⁴ Teknik ini meliputi pembebasan saraf dari jaringan parut yang melekat dan membuka epineurium yang menutupi serabut saraf tersebut. Elektrofisiologis dapat dilakukan selama pembedahan saraf perifer karena melalui *electromyography* (EMG) memungkinkan pencatatan aktivitas listrik dari motor unit saat aktivasi otot target. Belum banyak diketahui efek segera dari fascial (eksternal) epi dan perineurotomi terhadap *compound muscle action potentials* (CMAPs), khususnya dalam hal kuantifikasi jumlah akson motorik yang mudah terangsang saat stimulasi listrik. Respons potensial aksi saraf menunjukkan adanya beberapa ribu serabut saraf yang mengalami regenerasi.⁸⁵ Nazi melaporkan apa yang ditemukan pada kondisi anatomis dan elektrofisiologis selama operasi, berhubungan dengan hasil klinis pascaoperasi bila dilakukan dekomposisi dan neurolisis terhadap N. Radialis, N. Medianus, dan N. Ulnaris yang terganggu akibat trauma.⁸⁶ Pada saat saraf yang cedera dipaparkan selama operasi dan dilakukan pemeriksaan EMG untuk mengetahui CMAP. Saat kondisi saraf terbenam dalam jaringan fibrosis, maka hasilnya adalah CMAP hampir tidak ada. Segera setelah dilakukan dekomposisi dan neurolisis akan mulai tampak peningkatan amplitudo CMAP. Peningkatan tersebut tercatat sepanjang sesi pembedahan dan bahkan

berhubungan dengan pemulihan fungsi motorik dan sensorik serta berkurangnya nyeri segera setelah operasi. Hasil klinis tersebut juga telah dikonfirmasi pada evaluasi jangka menengah melalui penurunan *Disability of the Arm, Shoulder, and Hand (DASH) score*. Kejadian cedera pada saraf perifer akan menyebabkan oedema, perdarahan, dan fibrosis yang akan diikuti dengan pembentukan jaringan parut yang keras pada beberapa lapisan jaringan ikat sekitar akson.

Konsekuensinya akan terjadi obstruksi fisiologis konduksi saraf dan hambatan tersebut dapat dibuka dengan neurolisis (Gambar 4.20 dan 4.21). *Monitoring* elektrofisiologis berkesinambungan adalah

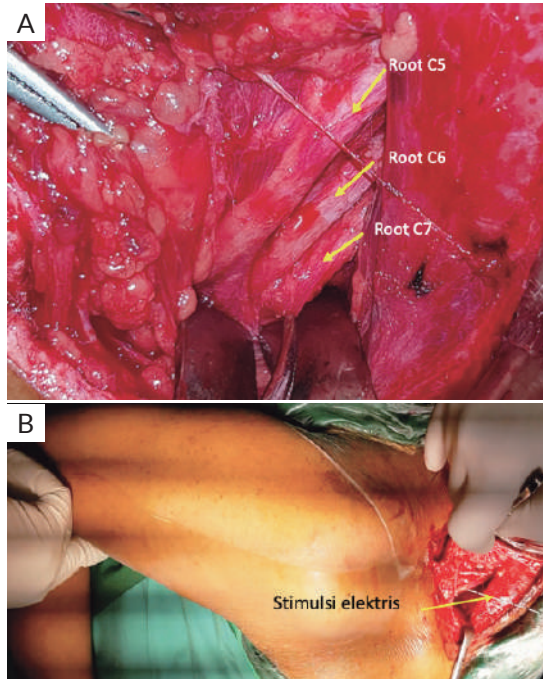


Gambar 4.20

Tindakan Neurolisis N Medianus. (A) Kondisi N. Medianus saat awal pembedahan yang diliputi jaringan parut. Stimulasi bagian proksimal saraf menunjukkan adanya amplitudo rendah CMAP yang tercatat pada *Abductor Pollicis Brevis* (APB). (B) tepat setelah dekompresi, amplitudo CMAP semakin besar bila dibandingkan dengan awalnya. (C) akhir dari Neurolisis N. Medianus, tampak amplitudo CMAP yang semakin besar bila dibandingkan dengan dua pemeriksaan awal.⁸⁷

Gambar 4.21

Tindakan eksplorasi dan neurolisis pada laki-laki 22 tahun yang mengalami kelumpuhan anggota gerak atas mulai dari bahu hingga jari-jari tangan kanan sejak 4 bulan sebelum operasi. (A)Eksplorasi selama operasi hanya didapatkan fibrosis C5–Th1 pada level root dan trunkus. (B) Stimulasi elektrik sebelum neurolisis tidak didapatkan respons kontraksi otot, namun setelah dilakukan neurolisis terjadi respons kontraksi otot yang bermakna.



teknik yang sangat penting manakala saraf tersebut masih utuh namun tidak berfungsi. Derajat neurolisis berhubungan dengan peningkatan amplitudo CMAP yang tercatat selama pembedahan dan selanjutnya berkorelasi dengan hasil klinis pascaoperasi yang dinyatakan melalui penurunan gejala nyeri, parastesia, dan pemulihan fungsi motorik dan sensorik. Neurolisis masih dapat diterapkan pada lesi Pleksus Brakialis. Pengalaman penulis pada saat eksplorasi *supraclavicular* Pleksus Brakialis dan didapatkan kondisi akar saraf yang masih utuh namun fibrosis pada epineurium dan perineurium perlu diteruskan eksplorasinya hingga level trunkus dan bahkan sampai ke korda maupun cabang terminal (pada level infraklavikular).

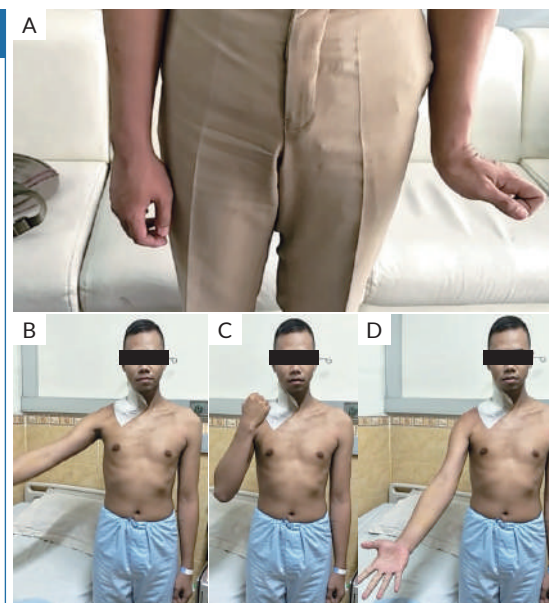
Teridentifikasinya semua struktur saraf pada semua level memungkinkan untuk dilakukan stimulasi elektrik terutama pada sisi proksimal dari area yang mengalami fibrosis. Respons dari stimulasi elektrik tersebut dicatat dan biasanya tidak ada respons

kontraksi, walaupun ada hanya sebatas kontraksi lemah. Manakala sudah dilakukan neurolisis dan didapati kondisi fasikular dengan aksonnya yang masih utuh, maka diteruskan dengan stimulasi listrik lagi pada sisi proksimal dari area neurolisis. Respons akan terlihat dengan adanya kontraksi dari otot yang diinervasi saraf tersebut. Sebaiknya respons tersebut diperiksa dengan EMG selama operasi untuk mengetahui seberapa kuat amplitudo CMAP. Hasil tersebut dapat digunakan sebagai prediksi hasil fungsional motorik dan sensorik dalam evaluasi jangka menengah maupun jangka panjang. Pascaoperasi tetap masih diperlukan stimulasi listrik untuk saraf maupun otot guna menjamin keberlangsungan konduksi saraf yang sempat terputus serta kontraktilitas otot yang juga sempat mengalami denervasi karena hambatan konduksi saraf yang menginervasinya.

Ilustrasi pasien lesi Pleksus Brakialis (C5-Th1) yang secara klinis didapatkan hampir monoplegia anggota gerak atas kanan, hanya tersisa gerakan fleksi jari-jari tangan dengan kekuatan otot Motorik I (M1) atau hanya tampak kontraksi otot namun tidak disertai adanya gerakan (Gambar 4.22 A).

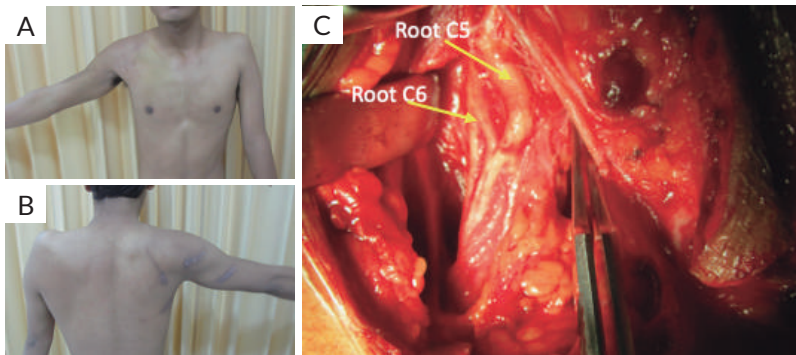
Gambar 4.22

Evaluasi klinis hari pertama paska operasi eksplorasi dan neurolisis (A)Kelumpuhan anggota gerak atas kanan sebelum operasi ,(B) Pulihnya kembali gerakan bahu, (C) siku, (D) pergelangan tangan, dan jari-jari tangan kanan sehari pascaoperasi eksplorasi dan neurolisis lesi Pleksus Brakialis. (Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Hari pertama pascaoperasi eksplorasi dan neurolisis disertai stimulasi elektrik selama operasi, menghasilkan kekuatan otot M 3+. Hasil yang sungguh memuaskan bagi pasien yang secara psikologis sudah mulai dihindangi rasa putus asa akibat kelumpuhan tersebut. Secara kronologis medis, hal ini dapat dijelaskan sebagai suatu hambatan konduksi saraf akibat trauma. Trauma benturan langsung akibat jatuh saat berlari, terjadi oedema dan perdarahan jaringan epineurium yang berakhir dengan pembentukan jaringan fibrosis. Manakala neurolisis dilakukan dengan melepaskan jaringan fibrosis serta membuka epineurium maupun perineurium, maka hambatan konduksi saraf dapat dihilangkan. Neurolisis yang diikuti dengan stimulasi elektrik sisi proksimal seperti suatu upaya membuka kembali konduksi saraf dan akan terlihat respons kontraksi otot-otot yang diinervasi oleh saraf tersebut.

Ilustrasi lain pasien dengan lesi Pleksus Brakialis (C5-C6) yang dilakukan eksplorasi dan didapatkan kondisi akar saraf yang fibrosis dari akar saraf C5 dan C6 hingga ke level trunkus superior seperti tampak pada Gambar 4.23. Tindakan neurolisis dilakukan secara bedah mikro untuk memastikan bahwa jaringan fibrosis sudah



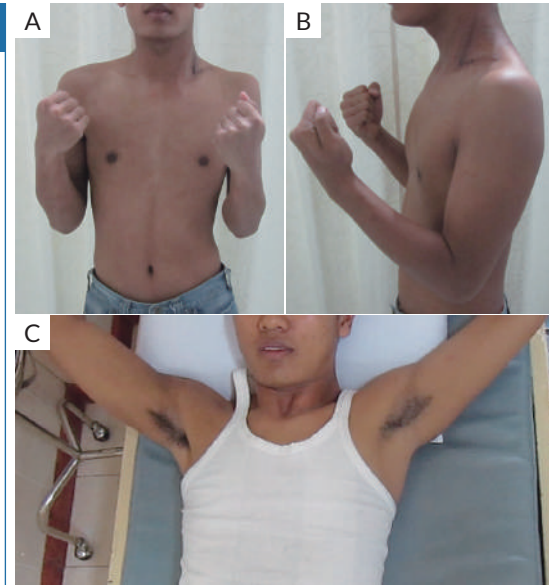
Gambar 4.23

Laki-laki 28 tahun dengan kelumpuhan (A) siku kiri dan (B) bahu setelah tertabrak ekskavator. (C) Tindakan eksplorasi-neurolisis dan stimulasi elektrik dilakukan pada 22 hari pascatrauma.

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Gambar 4.24

Delapan belas hari pascaoperasi telah terjadi pemulihan kekuatan motorik abduksi bahu dan fleksi siku dengan M 3+.
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

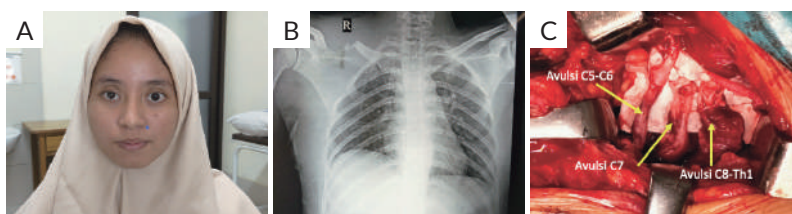


dapat dilepaskan secara penuh yang diikuti dengan membuka, baik epineurium maupun perineurium. Potensi tindakan neurolisis ini seperti pedang bermata dua, di satu sisi dapat membuka hambatan konduksi saraf, tetapi di sisi lain dapat membahayakan struktur fasikel maupun aksonnya hingga dapat memperparah kerusakan saraf. Evaluasi pascaoperasi terjadi pemulihan kontraksi otot kekuatan M 3+ pada hari ke-18 pascaoperasi seperti tampak pada Gambar 4.24. Pemulihan kekuatan otot tersebut dapat ditingkatkan dengan stimulasi elektrik baik terhadap saraf maupun terhadap otot tersebut disertai dengan latihan kontraksikan otot secara aktif dan berkesinambungan.

Peran rehabilitasi fungsi tidak kalah penting dengan operasinya itu sendiri. Perawatan bersama secara kerja tim akan mengoptimalkan hasil dan bahkan memaksimalkan hasil yang dapat dicapai.

4.6 Transfer Saraf C7 Kontralateral pada Lesi Pleksus Brakialis Avulsi Total

Pada lesi Pleksus Brakialis dengan mekanisme trauma kecelakaan kecepatan tinggi, kerusakan yang terjadi bukan hanya tercabutnya (avulsi) semua akar saraf dari komponen Pleksus Brakialis, tetapi juga dapat disertai haematopneumothoraks dan kerusakan saraf Phrenicus, Accessorius, dan bahkan Intercostae yang selama ini dapat digunakan sebagai donor saraf, seperti tampak pada Gambar 4.25.



Gambar 4.25

Lesi Pleksus Brakialis avulsi total yang disertai dengan fraktur Klavikula. (A) Sindroma Horner yang tampak dari gambaran ptosis mata kanan (B) Foto Thorax yang menunjukkan adanya fraktur Klavikula, Scapulothoracic disosiasi, dan level diafragma kanan yang lebih tinggi (menyatakan lesi N. Phrenicus), (C) Hasil eksplorasi berupa avulsi total C5-Th1.

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Keterbatasan atau bahkan ketiadaan dari saraf donor mengharuskan pencarian sumber dari kontralateral. Gu YD telah melaporkan penggunaan C7 kontralateral sebagai sumber saraf untuk ditransferkan ke N. Medianus.⁶⁷ Seorang pasien laki-laki berusia 28 tahun dengan mekanisme kecelakaan sepeda motor pada bulan Juni 1986 dan mengalami lesi Pleksus Brakialis Avulsi total disertai dengan hemopneumothoraks yang disebabkan oleh fraktur costa 3-6 kiri. Berdasarkan pemeriksaan klinis, didapatkan adanya tanda *Claude Bernard-Horner's* dan kelumpuhan total mulai dari bahu, siku, pergelangan tangan, hingga jari-jari tangan. Thoraks foto menunjukkan adanya elevasi diafragma kiri. Elektrogram

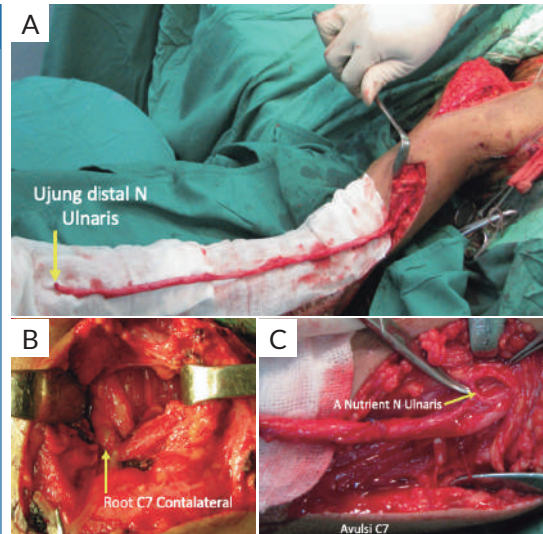
mendeteksi ketiadaan *Somato Evoked Potential* (SEP) dari akar saraf dari C5–Th1 dan tidak tercatatnya *Nerve Action Potential* (NAP). Dari EMG juga mendapatkan adanya lesi N. Phrenicus dan N. Accesorius. Berdasarkan observasi yang dilakukan oleh Gu YD pada lebih dari 1000 kasus lesi Pleksus Brakialis, tidak ada pasien yang mengalami kehilangan fungsi akibat kerusakan tunggal akar saraf C7, sehingga disimpulkan bahwa C7 dari sisi yang sehat dapat dikorbankan dan digunakan sebagai saraf donor untuk rekonstruksi Pleksus Brakialis yang mengalami avulsi total.⁶⁷ Eksplorasi yang dilakukan pada sisi cedera memang didapatkan adanya akar saraf yang tercabut mulai dari C5 hingga Th1, disertai jaringan parut yang luas pada Regio Cervical dan bahu, sehingga N. Accesorius pun sudah tidak dapat ditemukan lagi. N. Phrenicus ditemukan terbenam dalam jaringan parut tersebut dan dilanjutkan dengan tindakan neurolisis. Stimulasi elektrik yang dilakukan terhadap N. Phrenicus menghasilkan respons kontraksi dari otot diafragma, sehingga saraf ini dapat digunakan sebagai sumber saraf untuk ditransfer ke devisi anterior dari trunkus superior yang fasikelnya akan menuju ke N. Musculocuraneous. Oleh karena tidak ada lagi saraf donor yang dapat digunakan pada sisi tersebut, maka selanjutnya dilakukan diseksi dan pemotongan C7 kontralateral (setelah N. Ulnaris pada sisi cedera telah siap). N. Ulnaris sisi cedera dilakukan pembebasan mulai dari level pergelangan tangan hingga lengan atas, untuk selanjutnya ujung distal N. Ulnaris dibawa secara subkutan ke sisi diseksi C7 kontralateral dan disambungkan ke potongan proksimal C7 tersebut. Pembuluh darah Ulna juga dilakukan diseksi mengiringi N. Ulnaris dan ujung distal A. Ulnaris dianastomosikan dengan A. Cervicalis Transversalis, sementara V. Ulnaris disambungkan ke percebangan V. Jugularis Eksterna.⁶⁷

Hari pertama pascaoperasi didapatkan adanya defisit sensoris pada ujung jari telunjuk dan jari tengah, namun fungsi motorik pada anggota gerak sisi sehat tidak mengalami gangguan. Kekuatan otot Latissimus dorsi, Trisepts Brachii, Ekstensor Digitorum Communis, Flexor Carpi Ulnaris, dan Ekstensor Carpi Radialis semua di atas M4. Kekuatan menggenggam (*grip strength*) 36 kg, yang mana sebelum

operasi 40 kg, sementara itu kekuatan memegang benda kecil (*pinch strength*) adalah 4 kg, sama dengan sebelum operasi. Rasa kesemutan pada sisi sehat menghilang setelah dua minggu.

Gambar 4.26

Transfer saraf C7 kontralateral dengan menggunakan donor graft dari N. Ulnaris (A) Diseksi N. Ulnaris kanan mulai dari pergelangan tangan hingga lengan atas, (B) tepatnya pada arteri *nutrient* untuk N. Ulnaris, (C) di sisi sehat (kiri) dilakukan diseksi akar saraf C7. (Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Empat belas bulan pascaoperasi, pemeriksaan dengan perkusi dilakukan pada sambungan C7 kontraleteral dan N. Ulnaris. Tanda dari Tinel didapatkan positif hingga pertengahan lengan atas, menyatakan regenerasi saraf telah mencapai sisi tersebut. Hal ini sesuai dengan perkiraan kecepatan regenerasi yaitu 1 mm/hari (38 cm selama 420 hari). Sementara itu, pemulihan otot biceps telah terjadi dan saat itu mencapai kekuatan M3. Operasi selanjutnya dilakukan untuk pemotongan N. Ulnaris yang telah mengalami regenerasi dan disambungkan ke N. Medianus. Setelah 30 bulan pascaoperasi pertama, telah dicapai pemulihan otot fleksor carpi radialis dengan kekuatan M3, fleksor digitorum superficialis 2-5 dengan kekuatan M2, pemulihan sensoris 3 jari tangan sisi radial serasa S2. Kekuatan otot biceps mencapai M4 dan dapat menggerakannya secara bebas tanpa diinisiasi oleh pernapasan. Pengalaman Gu YD ini sangat bermanfaat khususnya pada penanganan lesi Pleksus Brakialis avulsi total.⁶⁷

Pengalaman penulis seperti tampak pada Gambar 4.26 dalam penanganan terhadap avulsi total lesi Pleksus Brakialis, melakukan transfer C7 kontra lateral sebagai saraf donor untuk N. Medianus yang diharapkan mendapatkan fungsi tangan. Rekonstruksi fungsi bahu dan siku dilakukan dengan transfer saraf N. Accessorius ke N. Suprascapularis, N. Intercostal 3 dan 4 ke N. Axillaris, N. Phrenicus ke N. Musculocutaneous. Penggunaan C7 kontra lateral sebagai saraf donor akan selalu mempertimbangkan kemungkinan morbiditas yang dapat ditimbulkannya sebelum menilai hasil yang dapat dicapainya. Hal tersebut selalu dipertanyakan baik dari pasien maupun keluarga saat edukasi maupun permintaan persetujuan operasi. Sejauh ini pasien seperti ilustrasi pada Gambar 4.26 tidak mengalami gangguan, baik motorik maupun sensorik pada saraf yang berasal dari C7.



BAB

Algoritma Penanganan Lesi Pleksus Brakialis

5

Pengisian data yang lengkap dari setiap pasien selain untuk memudahkan monitoring, baik dalam penanganan rehabilitatif maupun operatif, namun juga menjadikan suatu bentuk perhatian terhadap pasien dan keluarga.

Data Identitas Pasien

Data identitas dan anamnesis ini sangat diperlukan karena sifat penanganan pasien Pleksus Brakialis akan berlangsung lama dan memerlukan kerja sama yang baik antara pasien dan keluarga, serta tim dokter yang menanganinya. Riwayat trauma dideskripsikan dengan lengkap yang meliputi mekanisme kecelakaan, posisi anggota gerak saat kecelakaan, dan tanggal kecelakaan. Berdasarkan studi epidemiologis sebelumnya yang menyatakan bahwa 90% dari pasien lesi Pleksus Brakialis mengalami kecelakaan sepeda motor dengan kecepatan tinggi. Akibatnya adalah lesi Pleksus Brakialis jarang merupakan cedera tunggal, melainkan adanya cedera penyerta dan bahkan cedera yang mengancam nyawa maupun cedera yang mengancam viabilitas anggota gerak atas tersebut.

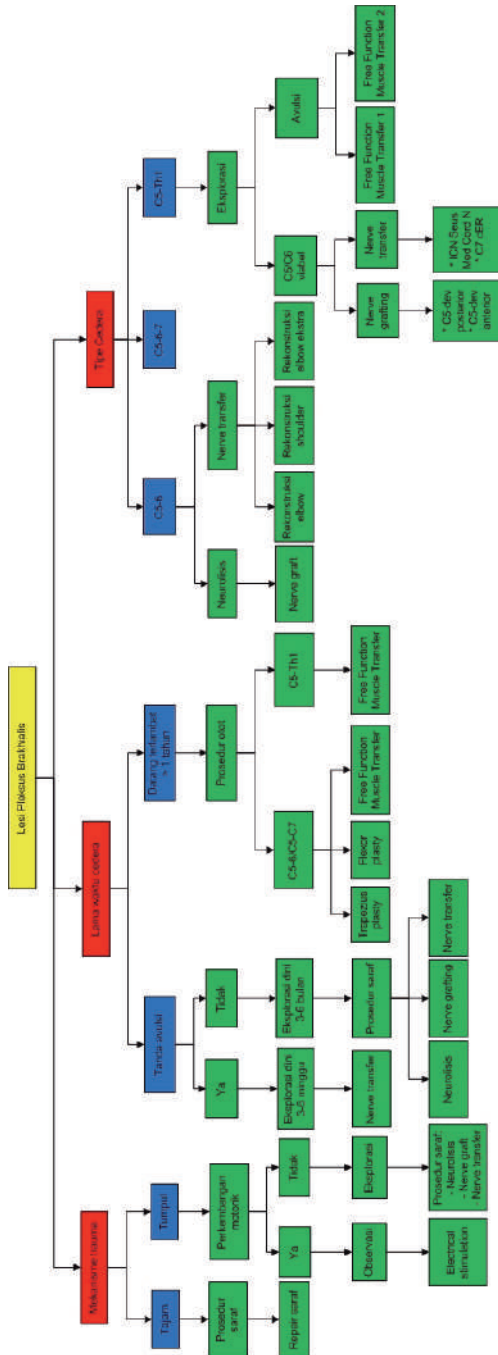
1. Nama lengkap	
2. Nama keluarga	
3. Tanggal pengisian	Hari / Bulan / Tahun
4. Dilengkapi oleh	<input type="checkbox"/> Diri sendiri <input type="checkbox"/> Pasangan atau anggota keluarga <input type="checkbox"/> Orang lain, bernama.....
5. Jenis kelamin	<input type="checkbox"/> Laki-laki <input type="checkbox"/> Perempuan
6. Tanggal lahir	Hari / Bulan / Tahun
7. Status pekerjaan	<input type="checkbox"/> Kerja penuh waktu <input type="checkbox"/> Kerja paruh waktu <input type="checkbox"/> Tidak bekerja, sedang mencari pekerjaan <input type="checkbox"/> Tidak mampu bekerja, sejak umur <input type="checkbox"/> Pensiun <input type="checkbox"/> Ibu rumah tangga <input type="checkbox"/> Lainnya
8. Alamat	
Kota / Provinsi	
9. Nomor telepon (+ <i>Whatsapp</i>)	
10. Ukuran badan	
- Tinggi badan (cm)	
- Berat badan (kg)	

Data riwayat trauma dan penanganan pertamanya

Tahap selanjutnya dalam pengumpulan data pasien adalah dengan melakukan pemeriksaan fisik, mulai dari kondisi umum keseluruhan pasien dari kepala hingga kaki dan kondisi khusus pada anggota gerak atas yang terkena. Pemeriksaan pada bagian muka untuk melihat adakah tanda-tanda sindroma Horner yaitu, (1) anhidrosis bagian muka sisi yang terkena, (2) ptosis kelopak mata, (3) enophthalmus bola mata yang cenderung masuk, dan (4) miosis diameter pupil yang mengecil. Pemeriksaan lokal pada anggota gerak atas yang terkena mulai dari bahu, siku, pergelangan tangan, hingga jari-jari tangan.

Pemeriksaan dimulai dari apa yang tampak pada bahu, (1) atrofi otot deltoid, supraspinatus dan infraspinatus, (2) deformitas *sulcus sign* atau turunnya caput humerus karena kelumpuhan otot deltoid. Pemeriksaan sensibilitas dengan cara raba halus dan rasa nyeri yang menyatakan *mapping dermatome* dan dapat menyatakan level cedera. Pemeriksaan motorik dengan memeriksa kontraksi otot-otot sesuai dengan *muscle chart* mulai dari bahu, siku, pergelangan tangan, dan jari-jari tangan. Adanya kontraksi otot yang didapat sesuai dengan yang terpetakan pada *muscle chart* juga dapat menyatakan level cedera. Pemeriksaan tambahan mulai dari foto ronsen, yaitu Thoraks Antero Posterior (AP), data digunakan untuk menilai level diafragma yang menyatakan kondisi N. Phrenicus.

1. Tanggal cedera	Hari / Bulan / Tahun
2. Mekanisme cedera	<input type="checkbox"/> Sepeda motor vs sepeda motor <input type="checkbox"/> Sepeda motor vs mobil <input type="checkbox"/> Sepeda motor vs pejalan kaki <input type="checkbox"/> Sepeda motor vs truk <input type="checkbox"/> Jatuh dari sepeda motor <input type="checkbox"/> Jatuh dari ketinggian <input type="checkbox"/> Cedera olahraga Lainnya
3. Tanggal datang ke Rumah Sakit rujukan	Hari / Bulan / Tahun
4. Nama rumah sakit / klinik yang merujuk	
5. Cedera lainnya	<input type="checkbox"/> Politrauma dengan multiorgan <input type="checkbox"/> Multifraktur <input type="checkbox"/> Fraktur tunggal,
6. Tanggal operasi	Hari / Bulan / Tahun
7. Usia saat operasi	
8. Sisi yang terkena	Kiri / Kanan
9. Tangan dominan	Kiri / Kanan
10. Riwayat penyakit dahulu
11. Kebiasaan merokok	Ya / Tidak



Algoritma penanganan lesi pleksus Brakialis.

Gambar 5.1



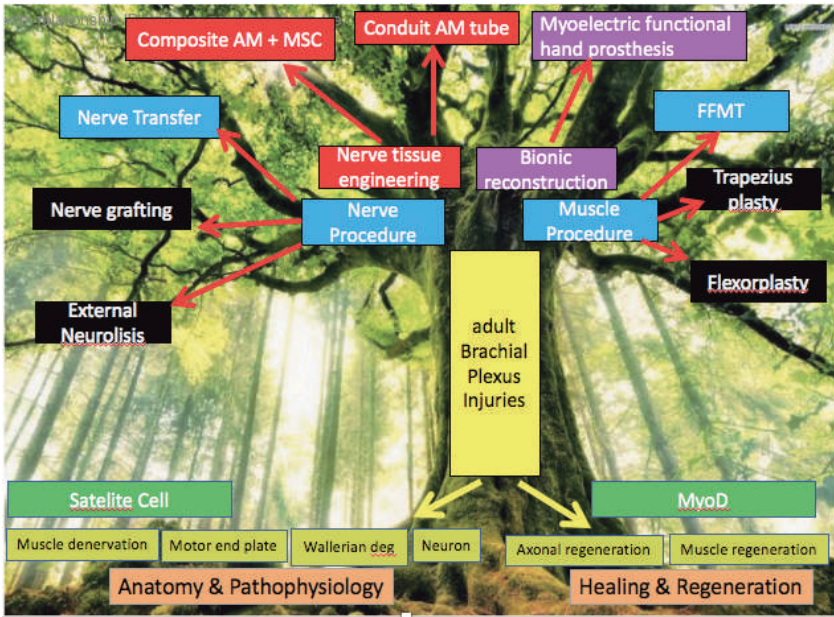
BAB

Masa Depan Penanganan Lesi Pleksus Brakialis

6

Penanganan lesi Pleksus Brakialis hingga saat ini masih merupakan tantangan bagi dunia medis. Peningkatan jumlah kasus dari waktu ke waktu memberikan kesempatan bagi peningkatan kompetensi bukan hanya dalam hal pelayanan, tetapi juga pendidikan dan penelitian yang pada gilirannya akan kembali memberikan dampak bagi peningkatan kualitas pelayanan. Gambar 6.1 merupakan ilustrasi proses perjalanan tata laksana komprehensif bagi penanganan lesi Pleksus Brakialis.

Regenerasi saraf dan reinervasi otot adalah proses dinamik. Upaya untuk meningkatkan kecepatan dan menuju integritas saraf dan otot memerlukan waktu. Pemberian mediator biokimiawi pada sisi reparasi merupakan pendekatan yang paling banyak dilakukan, walau upaya ini hanya menyediakan bantuan yang terbatas yang tidak akan dapat mengikuti perkembangan dari konus pertumbuhan saraf. Perkembangan dari pemberian sistemik dan *cell homing* yang akan membawa sel-sel tersebut menuju jauh ke konus pertumbuhan saraf dan regenerasi akson.⁸⁸ Sejauh ini belum ada metode farmakologi



Gambar 6.1 Pohon Penelitian Tata Laksana Komprehensif Lesi Pleksus Brakialis.

yang tersedia secara klinis yang dapat meningkatkan regenerasi saraf. Beberapa molekul, peptida, hormon, neurotoksin, dan faktor pertumbuhan telah dipelajari dan diduga mempunyai potensi untuk mempercepat akselerasi regenerasi saraf dengan mencegah kematian sel neuron dan mempromosi regenerasi akson.⁸⁹ Sebagian besar agen farmakologi tersebut telah diuji cobakan hanya pada kultur sel atau hewan coba, bidang ini masih sangat baru. Penelitian yang terus dilakukan, diharapkan untuk mendapatkan jalur molekular penyembuhan saraf yang baru, target molekular poten yang baru, dan pilihan terapi baru yang bermanfaat dalam penyembuhan saraf.

Kelemahan penggunaan *autograft* saraf yaitu adanya morbiditas donor, potensi terjadinya neuroma sisi donor, dan hasil yang masih suboptimal, akan terus mendorong upaya untuk mencari alternatif selain *autograft*. Penggunaan semacam tabung penuntun saraf baik yang biologis maupun yang sintesis, atau yang secara sederhana

disebut *conduit* saraf. *Conduit* saraf adalah struktur tubular yang dirancang untuk menjembatani defek pada saraf yang terpotong, yang tidak dapat dilakukan penyambungan saraf secara primer (*end-to-end*), untuk melindungi saraf terhadap jaringan sekitar dan dari pembentukan jaringan parut, serta untuk menuntun regenerasi akson hingga target saraf di bagian distal. Konsep dibalik penggunaan *conduit* saraf adalah tuntunan terhadap regenerasi saraf dimungkinkan bukan hanya oleh efek mekanik dari dinding dan lumennya, tetapi juga oleh efek kimiawi yaitu akumulasi faktor neurotropik yang memberikan lingkungan mikro yang menguntungkan kepada regenerasi saraf. Proses tersebut akhirnya memungkinkan terjadinya pembentukan matriks ekstraselular baru yang mana fibroblas, pembuluh darah, dan sel Schwann bermigrasi dan menghasilkan lingkungan yang kondusif untuk keberhasilan regenerasi saraf.⁹⁰ Upaya untuk meningkatkan efikasi dan memperpanjang jarak yang dapat dicapai saat regenerasi saraf, konsep penambahan zat aditif ke dalam lumen *conduit* juga telah dieksplorasi. Komponen selular yang meliputi sel Schwann, sel stromal, dan sel fibroblas. Komponen struktural yang meliputi fibrin, laminin, dan kolagen serta komponen faktor neurotropik (*fibroblast growth factor/FGF*, *nerve growth factor/NGF*, *glial growth factor/GGF*, *ciliary neurotrophic factor/CNF*, *vascular endothelial growth factor/VEGF*, *glial cell-line derived neurotrophic factor/GDNF*, dan neurotrophin-3), semuanya itu telah diinvestigasi secara *in vitro* dengan hasil yang memperkuat regenerasi saraf.

6.1 Augmentasi Biologis dengan Pendekatan Rekayasa Jaringan Saraf

Transeksi saraf mengakibatkan badan sel dari akson tersebut akan membengkak sebagai antisipasi dari peningkatan kebutuhan metabolisme untuk regenerasi. Beberapa sel saraf akan mengalami apoptosis sebagai respons terhadap terputusnya akson proksimal. Hal tersebut akan menurunkan jumlah dari kemampuan regenerasi neuron secara permanen. Sel Schwann (SS) yang merupakan sel glia utama dari sistem saraf perifer dan memegang peran penting

pada regenerasi, akan bergeser fungsinya dari myelinisasi ke fenotip fagositik dan melalui sinyal kemotaktik akan merekrut makrofag ke dalam zona cedera. Ini adalah awal dari degenerasi *Wallerian* dan terjadi pembersihan potongan distal debris akson dan myelin yang sekaligus mempersiapkan regenerasi konus pertumbuhan saraf. Sinyal dari badan sel yang kompleks dan belum sepenuhnya dipahami serta perpanjangan akson dari potongan proksimal yang ditarik menuju kolom SS dan dikenal sebagai *Bands of Büngner*. Penyangga (*scaffold*) tersebut akan menuntun regenerasi akson menuju tabung basal lamina distal. Sekali SS dan regenerasi akson tersebut bersatu, maka terjadilah simbiosis yang mempromosi pertumbuhan.⁸⁸

Metode yang diterima sebagai standar emas reparasi saraf adalah penjahitan saraf dengan teknik bedah mikro. Walaupun dengan *handling* jaringan yang halus dan akurat, reorientasi anatomi fasikular yang bebas dari ketegangan, hasil akhirnya masih tetap terbatas karena inflamasi penjahitan, terbentuknya jaringan parut intra dan ekstra neural, terlepasnya akson dan faktor pertumbuhan ke jaringan sekitarnya, serta misdireksi akson. Keterbatasan tersebut diperkuat dengan adanya cedera sisi proksimal anggota gerak dan rekonstruksi defek saraf manakala akson harus melintasi sisi jembatan karena cangkok saraf.⁸⁸

Tujuan utama penanganan lesi Pleksus Brakialis dengan augmentasi sel punca adalah menyediakan lingkungan yang kondusif untuk regenerasi akson dan juga mempertahankan *support* tersebut untuk waktu yang lama. Repopulasi neuron baik motorik maupun sensorik yang sudah menurun karena lesi Pleksus Brakialis, akan mengalami peningkatan jumlah lagi dan bahkan potensi regenerasi juga meningkat dengan pemberian sel punca mesenkimal. Pencegahan penurunan regulasi dan bahkan kematian sel Schwann sebagaimana yang terjadi pada level cedera proksimal dan defek saraf yang panjang. Akhirnya transplantasi sel punca ke dalam otot yang denervasi akan dapat mencegah dampak denervasi dan atrofi serta mempersiapkan otot tersebut untuk menerima reinervasi dalam jangka waktu yang lebih lama. Tujuan strategi berbasis sel punca dalam penanganan lesi

Pleksus Brakialis ini adalah untuk mengatasi persoalan seperti tersebut di atas dan memberikan solusi untuk masa yang akan datang.

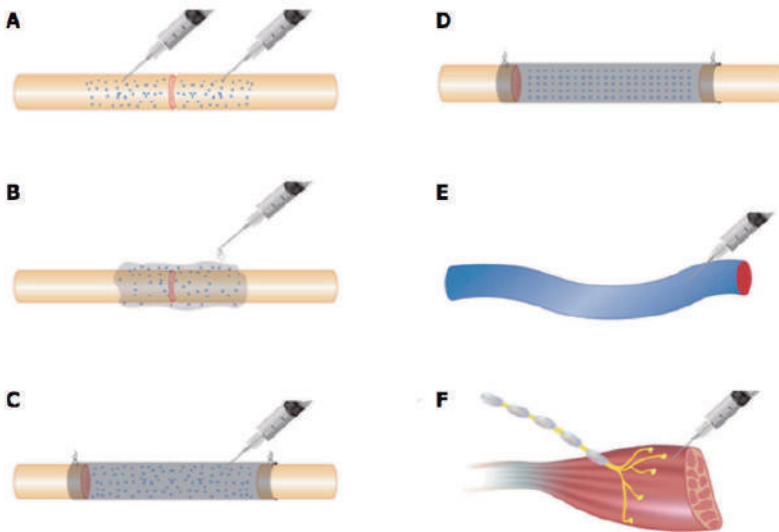
Sel punca mesenkimal mempunyai potensi terutama untuk menambah jumlah sel glial yang dalam hal ini adalah sel Schwann di samping menggantikan sel neuron yang mengalami apoptosis. Sel punca mesenkimal mempunyai potensi untuk menyelamatkan sel neuron yang aksonnya terpotong dan ikut mempersiapkan lingkungan mikro selama masa regenerasi. Sel punca eksogen tersebut akan berdeferensiasi menjadi fenotip seperti sel Schwann yang berintegrasi ke dalam *Bands of Büngner* dan menjadi penuntun aksonal dalam regenerasi maupun remyelinisasi. Sel punca yang ditransplantasikan akan meningkatkan sekresi faktor pertumbuhan dan produksi matriks ekstraseluler. Faktor pertumbuhan tersebut akan secara langsung dilepaskan atau melalui kontak sel dengan sel dan sinyal parakrin tersebut akan menstimulasi sel Schwann endogen untuk meningkatkan aktivitas sekresinya.

Produksi *nerve growth factor* (NGF), *brain derived neurotrophic factor* (BDNF), *glial cell line-derived neurotrophic factor* (GDNF), *ciliary neurotrophic factor*, dan neurotrophin-3 (NT-3) oleh sel Schwann endogen dan sel punca yang ditransplantasikan telah terdeskripsikan. Faktor-faktor seperti *vascular endothelial growth factor* (VEGF), *basic fibroblast growth factor* (bFGF), *hepatocyte growth factor*, dan angiopoietin-1 juga telah dilaporkan. Kondisi hipoksia juga telah ditemukan akan mempotensiasi terjadinya angiogenesis dan pengaruh neurogenik terhadap sel punca, sehingga akan meningkatkan terjadinya pembuluh darah baru dan pembentukan serabut saraf. Hal ini telah membuat beberapa peneliti untuk mencoba prakondisi dan deferensiasi dalam lingkungan hipoksia.⁹¹ Pengamatan terhadap efek immunomodulasi dari sel punca dikarenakan sekresi faktor-faktor granulosit dan *macrophage colony stimulating factor* (G-CSF, M-CSF), interleukin-6, 7, 8, dan 11 (IL-6, IL-7, IL-8, IL-11) dan TNF- α . Supresi terhadap respons imun *host* akan mengurangi pengaruh negatif inflamasi dan fibrosis setelah dilakukan reparasi saraf.⁹² Sel punca dapat ditransplantasikan dalam kondisi belum

terdeferensiasi ataupun terdeferensiasi *in vitro* sebagai sel yang menyerupai sel Schwann. Diferensiasi sel punca *in vitro* dapat dicapai dengan pemaparan β -mercaptoethanol, *all-trans retinoic acid*, *fetal bovine serum*, *forskolin*, *recombinant human bFGF*, *recombinant human platelet derived growth factor-AA*, dan *recombinant human heregulin β -1*.⁹³ Keuntungan sel punca yang telah terdeferensiasi adalah viabilitas *in vivo* dan peningkatan kemampuan sekresi faktor neurotropik serta myelinisasi. Namun banyak peneliti lain mengungkapkan efek positif dari penggunaan sel punca yang belum terdeferensiasi. *In vitro* deferensiasi diyakini akan memperlambat waktu, membatasi aplikasi klinis, dan bahkan dapat mengurangi sekresi faktor neurotropik. Secara *evidence* menyatakan bahwa sel punca yang tidak berdeferensiasi (*undifferentiated*) akan mengalami diferensiasi sebagai respons terhadap stimulus lokal.

Jaringan lemak merupakan jaringan yang banyak didapat dan dengan mudah dapat diambil, atau bahkan merupakan jaringan yang dibuang pada saat prosedur *liposuction*. Jaringan ini mempunyai fraksi sel punca yang lebih superior dibandingkan dengan jaringan sumsum tulang, juga potensi proliferasi dan differensiasinya. Beberapa *marker* neuron dan sel Schwann telah terekspresi dari diferensiasi sel punca turunan jaringan lemak. Bahkan beberapa studi menunjukkan bahwa pemberian sel punca turunan jaringan lemak sama efektifnya dengan pemberian autologus sel Schwann.⁹⁴

Penggunaan *scaffold* bertujuan untuk mempertahankan viabilitas sel, menyokong proliferasi, dan memungkinkan komunikasi antar sel. Perancah sel (*cell scaffolds*) bertujuan untuk mempertahankan viabilitas sel, mendukung proliferasi, dan memungkinkan komunikasi antar sel dan elusi faktor pertumbuhan. *Scaffold* juga berperan dalam pencegahan hilangnya sel pada sisi cedera, manakala digunakan dalam kombinasi dengan *conduit* akan dapat meningkatkan penyediaan sel.



Gambar 6.2

Metode pemberian sel punca. (A) Injeksi langsung pada ujung saraf yang disambung atau dicangkok, (B) Injeksi suspensi sel punca pada matriks di sekitar saraf, (C) Defek saraf yang diisi dengan *conduit* dan sel punca diinjeksikan ke dalam *lumen conduit*, (D) Defek saraf yang diisi dengan *conduit* dan sel punca ditanam pada *conduit* tersebut sebelumnya, (E) Injeksi sel punca secara sistemik, dimana secara *homing* sel punca akan menuju ke sisi cedera, (F) Injeksi sel punca pada *neuromuscular junction*.

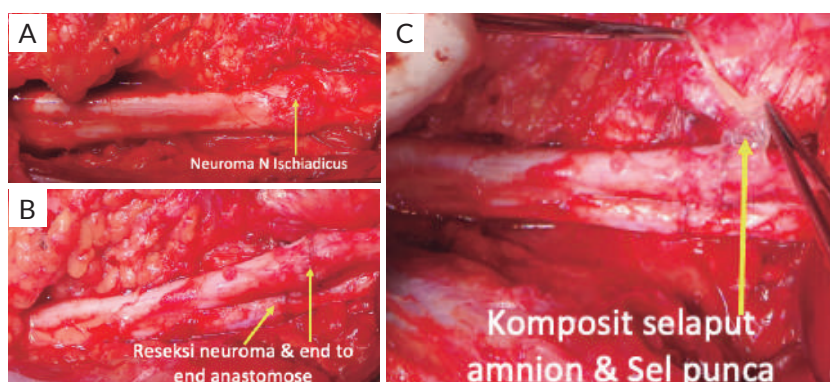
Pada kondisi saraf di reparasi secara primer atau bila dilakukan cangkok saraf baik *autograft* maupun *allograft*, sel punca dapat disediakan dalam berbagai metode. Sel punca yang ditanam pada medium kultur dapat diinjeksikan pada ujung saraf ataupun graf. Walaupun pemberian sel langsung pada sisi cedera, namun proses mikro injeksi tersebut dapat merusak arsitektur dalam saraf yang halus, sehingga distribusi sel menjadi tidak dapat diprediksi lagi (Gambar 6.2 A). Metode berikut dengan sel punca yang telah ditanam pada matriks fibrin dan diinjeksikan ke sekitar reparasi saraf, langkah ini akan mempertahankan sekresi faktor neurotropik dan migrasi

sel ke sisi tersebut (Gambar 6.2 B). Sel punca dapat diinjeksikan secara langsung ke lumen *conduit* (Gambar 6.2 C) atau sel punca ditanamkan dulu ke matriks *conduit* (Gambar 6.2 D). *Conduit* alami meliputi pembuluh vena dan arteri yang kaya dengan protein matriks ekstraseluler seperti kolagen dan laminin akan menyediakan substrat untuk perlekatan sel punca tersebut. Pembuluh darah tersebut dapat dipertahankan kosong atau diisi dengan jaringan otot untuk menyokong penuntun aksonal.⁹⁵ Profil degradasi dari *conduit* harus dipertimbangkan manakala digunakan pada terapi sel. *Conduit* alami cenderung mengalami degradasi secara nontoksik, walau kecepatan degradasinya tidak cukup lambat dibandingkan waktu regenerasi pembentukan jaringan saraf baru. Pentingnya lamina basal dan kerangka matriks ekstraseluler untuk penuntun regenerasi akson menjadikan pertimbangan bagi *conduit* yang diisi jaringan lebih baik dibanding dengan yang kosong atau lumen tunggal.

Augmentasi reparasi saraf perifer dengan sel punca harus mempertimbangkan tipe sel punca, differensiasinya, *scaffold* yang digunakan, dan metode pemberian yang efektif sebagai terapi baru. Selaput amnion beku kering adalah salah satu biomaterial yang mempunyai potensi dalam rekayasa jaringan saraf dan dapat dikombinasikan dengan sel punca mesenkimal. Sebelum melangkah pada uji klinis, beberapa uji praklinis telah dilakukan pada hewan coba. Uji praklinis pertama telah dilakukan pada hewan coba tikus Sprague Dawley dengan reparasi saraf Ischiadicus yang sebelumnya dipotong secara tajam. Kelompok perlakuan dilakukan augmentasi komposit selaput amnion beku kering yang telah ditanami sel punca mesenkimal dari jaringan lemak alogenik pada sisi reparasi saraf. Observasi mengenai fungsional dan histologis dilakukan pada hari ke-1, 3, 5, 7, 14, dan 21. Hasilnya menunjukkan adanya peningkatan yang bermakna pada kelompok perlakuan. Uji praklinis kedua dengan menggunakan hewan coba kelinci New Zealand White dengan reparasi saraf Ischiadicus yang sebelumnya dipotong secara tajam. Augmentasi dilakukan pada kelompok perlakuan dengan menyuntikkan sel punca mesenkimal dari jaringan kulit yang telah dilabeli dengan PKH26

dengan dosis 4×10^5 sel pada sisi reparasi saraf. Hasilnya adalah terjadi migrasi sel punca ke sisi reparasi saraf.

Studi klinis pendahuluan telah dilakukan pada pasien wanita 21 tahun dengan lesi saraf Ischiadicus. Mekanisme cedera paha kanan terkena pecahan kaca 6 bulan lalu dan didapatkan luka tajam sisi posterior paha kanan dengan patologi ruptur otot-otot Hamstring disertai ruptur total arteri Femoralis dan saraf Ischiadicus. Dilakukan operasi debridemen dan penjahitan otot-otot Hamstring, anastomosis arteri Femoralis, dan reparasi saraf Ischiadicus kanan. Selama 6 bulan pascaoperasi belum didapatkan hasil fungsional neurologis saraf Ischiadicus, gerakan dorsofleksi dan plantarfleksi kekuatan motoriknya masih nol. Selanjutnya setelah diskusi dengan pasien dan keluarga, akhirnya disetujui untuk dilakukan eksplorasi kembali. Hasil eksplorasi didapatkan adanya bentukan neuroma pada sisi sambungan saraf seperti tampak pada Gambar 6.3.



Gambar 6.3

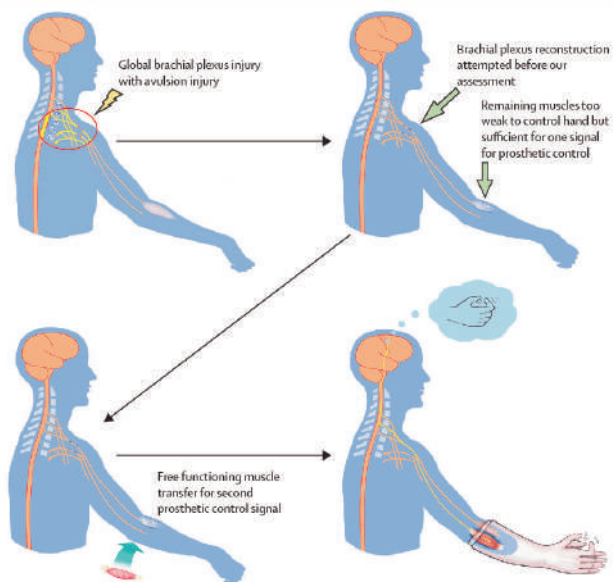
Eksplorasi kembali saraf Ischiadicus dan pendekatan rekayasa jaringan saraf pada lesi N. Ischiadicus. (A) Neuroma sisi sambungan saraf Ischiadicus dilakukan eksisi hingga jaringan saraf yang sehat, (B) reparasi secara teknik bedah mikro untuk memastikan aproksimasi fasikel saraf dengan tepat, (C) augmentasi sisi reparasi dengan komposit selaput amnion beku kering yang telah ditanami sel punca dari jaringan lemak. (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

6.2 Rekonstruksi tangan *bionic* dengan pendekatan *myoelectric*

Bertelli dan Ghizoni pada tahun 2011 melaporkan pengalamannya dalam menangani penderita dengan lesi total Pleksus Brakialis dan menyimpulkan bahwa rekonstruksi fungsi tangan yang dapat digunakan untuk aktivitas keseharian untuk saat ini masih belum memungkinkan.⁹⁶ Zhang (2014) telah melakukan metode rekonstruksi dua tahap untuk reanimasi fleksi dan ekstensi ibu jari dan jari-jari lainnya terhadap dua penderita lesi Pleksus Brakialis C7-Th1. Kedua penderita tersebut telah mendapatkan kembali fungsi bahu dan siku serta beberapa gerakan dalam mengontrol fungsi pergelangan tangan, namun belum dengan fungsi tangan. Tahap pertama dengan melakukan transfer saraf dari cabang motorik Supinator ke saraf Interoseous Posterior untuk restorasi ekstensi ibu jari dan jari-jari lainnya, serta transfer saraf dari cabang motorik Brakialis ke N. Medianus untuk restorasi fleksi jari-jari tangan. Tahap kedua adalah tendon transfer dari Brachioradialis untuk restorasi gerakan oposisi ibu jari tangan. Hasilnya adalah kedua penderita tersebut dapat mencapai fungsi tangan yang memuaskan. Hasil tersebut dapat dicapai dengan kondisi C5 dan C6 masih berfungsi, namun tidak mungkin dilakukan pada lesi total Pleksus Brakialis. Pada keadaan di mana tidak mungkin dilakukan rekonstruksi untuk restorasi fungsi jari-jari tangan, baik dengan transfer saraf, transfer otot, tenodesis maupun tendon transfer, maka alternatif penggantian fungsi tangan nonbiologis akan sangat diperlukan.⁹⁷

Aszmann telah melaporkan tiga kasus restorasi fungsi tangan pada lesi total Pleksus Brakialis dengan metode yang diberi nama rekonstruksi bionik.⁹⁸ Kerja inovatif ini menggunakan dua sinyal mioelektrik untuk menciptakan gerakan prosthesis, khususnya antara ibu jari dengan jari-jari lainnya. Sebelum dilakukan amputasi pada lengan bawah dan tangan biologis yang lumpuh tersebut untuk selanjutnya digantikan dengan prosthesis baru yang pas, maka perlu dilakukan pelatihan yang sistematis dan intensif dalam penggunaan prosthesis tersebut. Penderita akhirnya akan dapat melakukan

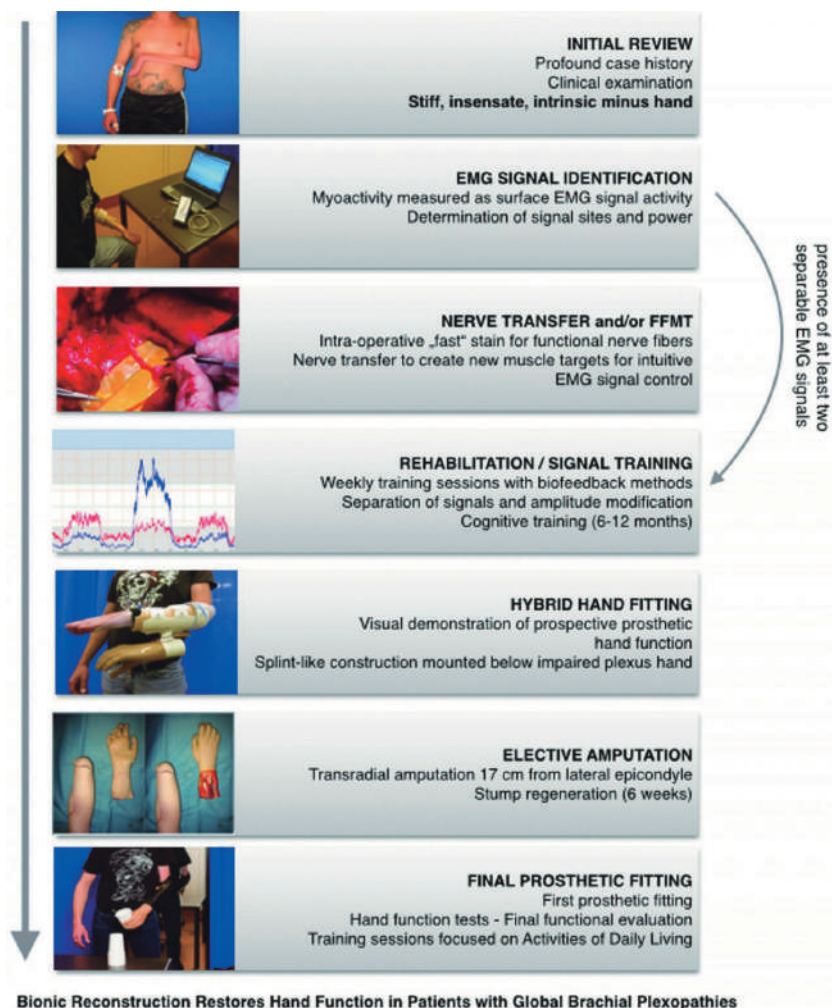
tugas baru secara bimanual dengan prosthesis baru tersebut setelah diamputasi transradial seperti tampak pada Gambar 6.4.⁹⁸



Gambar 6.4

Tahapan sebelum dilakukan rekonstruksi bionik pada lesi total Pleksus Brakialis.⁹⁹

Penderita pertama mengalami kecelakaan sepeda motor yang mengakibatkan avulsi Pleksus Brakialis kanan C8-Th1 dan kerusakan saraf level korda infra klavikular. Operasi pertama dilakukan pada tiga bulan pascatrauma dengan cangkok saraf autolog pada ketiga korda Pleksus Brakialis dengan menggunakan tiga akar saraf yang masih ada, yaitu C5, C6, dan C7. Empat tahun kemudian dilakukan FFMT dan sepuluh tahun kemudian sudah mendapatkan kembali fungsi bahu dan siku, namun tetap belum mendapatkan fungsi ekstrinsik maupun intrinsik tangan. Otot Fleksor antebrahii masih belum dapat menggerakkan tangan melawan gravitasi. Sementara kompartmen ekstensor antebrahii yang diwakili aktivitas N. Radialis masih ada, namun juga belum dapat melawan gravitasi.



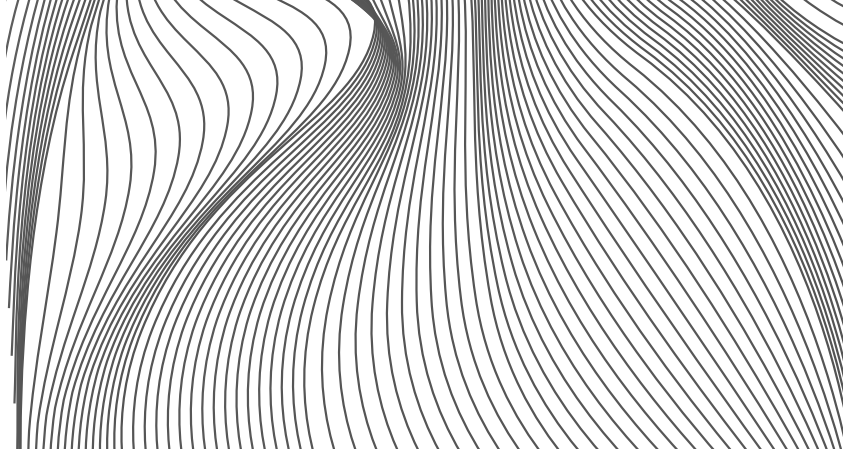
Gambar 6.5

Tahapan Rekonstruksi *Bionic* pada Lesi Total Pleksus Brakialis.¹⁰⁰

Berdasarkan hasil pemeriksaan elektromiografi, kedua kompartmen tersebut mempunyai aktivitas yang cukup untuk mengontrol prosthesis. Selanjutnya pelatihan kognitif dimulai dengan sinyal *biofeedback* elektromiografi permukaan yang dapat dilihat sendiri oleh penderita. Pelatihan aktivasi otot tersebut akan terlihat

dari layar monitor. Pada saat tangan yang tak berfungsi masih pada tempatnya, penggunaan rehabilitasi virtual akan memperkuat motivasi penderita bahwa mereka masih dapat mengontrol fungsi tangan. Perekaman elektromiografi permukaan secara berulang akan menunjukkan bahwa pelatihan akan memperkuat kualitas sinyal dan kontrolnya. Penderita akan dapat mempraktikkan fungsi yang berbeda dari protesis melalui rehabilitasi virtual sebelum protesis tersebut diterapkan. Setelah kepercayaan diri didapat dalam lingkungan virtual, maka protesis tangan dilekatkan pada alat yang mirip penyangga yang masih melekat pada tangan. Akhirnya tangan diamputasi pada level sekitar 15–17 cm dari epikondilus lateralis Humerus dan dilakukan balutan kompresif untuk mengontrol pembengkakan. Pemasangan dan pelatihan protesis dilakukan setelah enam minggu pasca-amputasi. Tahapan rekonstruksi *bionic* pada lesi total Pleksus Brakialis dapat dilihat pada Gambar 6.5. Hasilnya adalah bahwa protesis dapat menggantikan fungsi berdasarkan adanya peningkatan skor *Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand (DASH)*, *Action Research Arm Test (ARAT)*, dan *Southampton Hand Assessment Procedure (SHAP)*.

Ke depan, penggunaan augmentasi biologis maupun kemajuan protesis yang berbasis mioelektrik akan dapat memberikan pilihan penanganan yang tidak pernah terpikirkan sebelumnya, khususnya fungsi prehensi tangan pada lesi total Pleksus Brakialis.



Daftar Pustaka

1. Scale MRC. Aids to examination of the peripheral nervous system. Memorandum no. 45. London: Her Majesty's Stationery Office; 1976.
2. LeBlanc AC, Poduslo JF. Axonal modulation of myelin gene expression in the peripheral nerve. *J Neurosci Res.* 1990;26(3):317–26.
3. Erez H, Malkinson G, Prager-Khoutorsky M, De Zeeuw CI, Hoogenraad CC, Spira ME. Formation of microtubule-based traps controls the sorting and concentration of vesicles to restricted sites of regenerating neurons after axotomy. *J Cell Biol.* 2007;176(4):497–507.
4. Kamber D, Erez H, Spira ME. Local calcium-dependent mechanisms determine whether a cut axonal end assembles a retarded endbulb or competent growth cone. *Exp Neurol.* 2009;219(1):112–25.
5. Ygge J. Neuronal loss in lumbar dorsal root ganglia after proximal compared to distal sciatic nerve resection: a quantitative study in the rat. *Brain Res.* 1989;478(1):193–5.
6. Groves MJ, Christopherson T, Giometto B, Scaravilli F. Axotomy-induced apoptosis in adult rat primary sensory neurons. *J Neurocytol.* 1997;26(9):615–24.
7. Noven SV, Wallace N, Muccio D, Turtz A, Pinter MJ. Adult Spinal Motoneurons Remain Viable Despite Prolonged Absence of Functional Synaptic Contact with Muscle. *Exp Neurol.* 1993;123(1):147–56.
8. Martin LJ, Kaiser A, Price AC. Motor neuron degeneration after sciatic nerve avulsion in adult rat evolves with oxidative stress and is apoptosis. *J Neurobiol.* 1999;40(2):185–201.

9. Koliatsos VE, Price WL, Pardo CA, Price DL. Ventral root avulsion: An experimental model of death of adult motor neurons. *J Comp Neurol.* A1994;342(1):35-44.
10. Kreutzberg G. The Axon: Structure, Function and Pathophysiology. In: Reaction of the neuronal cell body to axonal damage. New York:Oxford University Press;1995.
11. Fu SY, Gordon T. Contributing factors to poor functional recovery after delayed nerve repair: prolonged denervation. *J Neurosci.* 1995;15(5 Pt 2):3886-95.
12. Midrio M. The denervated muscle: facts and hypotheses. A historical review. *Eur J Appl Physiol.* 2006;98(1):1-21.
13. Dubový P, Aldskogius H. Degeneration and regeneration of cutaneous sensory nerve formations. *Microsc Res Tech.* 1996;34(4):362-75.
14. Fawcett JW, Keynes RJ. Peripheral Nerve Regeneration. *Annu Rev Neurosci.* 1990;13(1):43-60.
15. Cotman CW, JV Nadler. Neuronal plasticity. Raven Press;1978. p. 227-271.
16. Gulati AK. Evaluation of acellular and cellular nerve grafts in repair of rat peripheral nerve. *J Neurosurg.* 1988;68(1):117-23.
17. Hall SM. Regeneration in cellular and acellular autografts in the peripheral nervous system. *Neuropathol Appl Neurobiol.* 1986;12(1):27-46.
18. Stephen G W, Jeffery D K, Peter K S. The axon : structure, function, and pathophysiology / edited by Stephen G. Waxman, Jeffery D. Kocsis, Peter K. Stys. - Version details - Trove. New York: Oxford University Press;1995.
19. Witzel C, Rohde C, Brushart TM. Pathway sampling by regenerating peripheral axons. *J Comp Neurol.* 2005;485(3):183-90.
20. Bodine-Fowler SC, Meyer RS, Moskovitz A, Abrams R, Botte MJ. Inaccurate projection of rat soleus motoneurons: a comparison of nerve repair techniques. *Muscle Nerve.* 1997;20(1):29-37.
21. Molander C, Aldskogius H. Directional specificity of regenerating primary sensory neurons after peripheral nerve crush or transection and epineurial suture A sequential double-labeling study in the rat. *Restor Neurol Neurosci.* 1992;4(5):339-44.
22. Robinson GA, Madison RD. Motor neurons can preferentially reinnervate cutaneous pathways. *Exp Neurol.* 2004;190(2):407-13.
23. Rachman A MF, Suroto H. Microscopic Appearance of Satellite Cells of Brachial, Bicep, and Deltoid Muscle of Brachial Plexus Injury Patients Performed Surgery at Dr. Soetomo Hospital Surabaya. Universitas Airlangga;2016.

24. Bentolila V, Nizard R, Bizot P, Sedel L. Complete traumatic brachial plexus palsy. Treatment and outcome after repair. *J Bone Joint Surg Am.* 1999;81(1):20–8.
25. Samii M, Carvalho GA, Nikkhah G, Penkert G. Surgical reconstruction of the musculocutaneous nerve in traumatic brachial plexus injuries. *J Neurosurg.* 1997;87(6):881–6.
26. Hawkes Physiotherapy. Neck blog series part 5: Brachial Plexus Pathology. [internet] 2013. Available from: <http://mathewhawkesphysiotherapy.blogspot.com/2013/04/neck-blog-series-part-5-brachial-plexus.html?view=classic>.
27. Paternostro-Sluga T, Grim-Stieger M, Posch M, Schuhfried O, Vacariu G, Mittermaier C, et al. Reliability and validity of the Medical Research Council (MRC) scale and a modified scale for testing muscle strength in patients with radial palsy. *J Rehabil Med.* 2008;40(8):665–71.
28. Sakellariou VI, Badilas NK, Mazis GA, Stavropoulos NA, Kotoulas HK, Kyriakopoulos S, et al. Brachial plexus injuries in adults: evaluation and diagnostic approach. *ISRN Orthop.* 2014;726103.
29. Mansukhani KA. Electrodiagnosis in traumatic brachial plexus injury. *Ann Indian Acad Neurol.* 2013;16(1):19–25.
30. Ferrante MA, Wilbourn AJ. Electrodiagnostic approach to the patient with suspected brachial plexopathy. *Neurol Clin.* 2002;20(2):423–50.
31. Marmor L. Regeneration of Peripheral Nerves by Irradiated Homografts. *J Bone Joint Surg Am.* 1964;46:383–94.
32. Millesi H. Nerve transplantation for reconstruction of peripheral nerves injured by the use of the microsurgical technic. *Minerva Chir.* 1967;22(17):950–1.
33. Dellon AL, Mackinnon SE. Basic scientific and clinical applications of peripheral nerve regeneration. *Surg Annu.* 1988;20:59–100.
34. Lundborg G. Nerve injury and repair. Churchill Livingstone;1988.
35. Lee SK, Wolfe SW. Peripheral nerve injury and repair. *J Am Acad Orthop Surg.* 2000;(4):243–52.
36. Merrell GA, Barrie KA, Katz DL, Wolfe SW. Results of nerve transfer techniques for restoration of shoulder and elbow function in the context of a meta-analysis of the English literature. *J Hand Surg Am.* 2001;26(2):303–14.
37. Songcharoen P, Wongtrakul S, Spinner RJ. Brachial plexus injuries in the adult. nerve transfers: the Siriraj Hospital experience. *Hand Clin.* 2005;21(1):83–9.
38. Giuffre J, Kakar S, Bishop AT, Spinner RJ, Shin AY. Current concepts of the treatment of adult brachial plexus injuries. *J Hand Surg.* 2010;35A:678–688.

39. Mackinnon SE, Novak CB, Myckatyn TM, Tung TH. Results of Reinnervation of the Biceps and Brachialis Muscles with a Double Fascicular Transfer for Elbow Flexion. *J Hand Surg Am.* 2005;30(5):978-85.
40. Bishop AT. Functioning free-muscle transfer for brachial plexus injury. *Hand Clin.* 2005;21(1):91-102.
41. 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 Am.* 2003;28(4):633-8.
42. Elhassan B, Bishop A, Shin A. Trapezius Transfer to Restore External Rotation in a Patient with a Brachial Plexus Injury. *J Bone Jt Surgery-American.* 2009;91(4):939-44.
43. Suzuki K, Doi K, Hattori Y, Pagsaligan J. Long-Term Results of Spinal Accessory Nerve Transfer to the Suprascapular Nerve in Upper-Type Paralysis of Brachial Plexus Injury. *J Reconstr Microsurg.* 2007;23(6):295-9.
44. Doi K, Hattori Y, Yamazaki H, Wahegaonkar AL, Addosooki A, Watanabe M. Importance of Early Passive Mobilization following Double Free Gracilis Muscle Transfer. *Plast Reconstr Surg.* 2008;121(6):2037-45.
45. Mikami Y, Nagano A, Ochiai N, Yamamoto S. Results of nerve grafting for injuries of the axillary and suprascapular nerves. *J Bone Joint Surg Br.* 1997;79(4):527-31.
46. Ochiai N, Nagano A, Sugioka H, Hara T. Nerve grafting in brachial plexus injuries. Results of free grafts in 90 patients. *J Bone Joint Surg Br.* 1996;78(5):754-8.
47. Okinaga S, Nagano A, Ochiai N, Yamamoto S, Tobimatsu H. Histopathological findings of SEPs absent roots in brachial plexus injuries. *J Jpn Soc Surg Hand.* 1990;7:345-50.
48. Alnot JY. Traumatic brachial plexus palsy in the adult. Retro- and infraklavikular lesions. *Clin Orthop Relat Res.* 1988;(237):9-16.
49. Ochiai N, Nagano A, Okinaga S, Murasima R, Tachibana S. Brachial plexus injuries: surgical treatment of combined injuries of the axillary and suprascapular nerves. *J Jpn Soc Surg Hand.* 1988;5:151-5.
50. Kazuteru Doi et al. Reinnervated Free Muscle Transplantation for Extremity Reconstruction. *Plast Reconstr Surg.* 1993;91(5):872-83.
51. Shin AY, Spinner RJ, Bishop AT. Nerve transfers for brachial plexus injuries. *Oper Tech Orthop.* 2004;14(3):199-212.
52. Songcharoen P, Mahaisavariya B, Chotigavanich C. Spinal accessory neurotization for restoration of elbow flexion in avulsion injuries of the brachial plexus. *J Hand Surg Am.* 1996;21(3):387-90.

53. Solonen KA, Vastamäki M, Ström B. Surgery of the brachial plexus. *Acta Orthop Scand*. 1984;55(4):436–40.
54. Sedel L. The results of surgical repair of brachial plexus injury. *J Bone Jt Surg*. 1982;64B:54–66.
55. Brown DL.. *Atlas Regional of Anesthesia*. 3rd ed;2005.
56. Bonnel F. Microscopic anatomy of the adult human brachial plexus: an anatomical and histological basis for microsurgery. *Microsurgery*. 1984;5(3):107–18.
57. Fell SC. Surgical anatomy of the diaphragm and the phrenic nerve. *Chest Surg Clin N Am*. 1998;8(2):281–94.
58. Aggarwal S, Hari P, Bagga A, Mehta SN.. Phrenic nerve palsy: a rare complication of indwelling subclavian vein catheter. *Pediatr Nephrol*. 2000;14(3):203–4.
59. Chuang DC. Neurotization procedures for brachial plexus injuries. *Hand Clin*. 1995;11(4):633–45.
60. Zhang L, Gu Y. Follow-up study of lung function after phrenic nerve transfer. *Chin J Hand Surg*. 1994;10:10–1.
61. Shoemaker R, Palmer G, Brown JW, King H. Aggressive treatment of acquired phrenic nerve paralysis in infants and small children. *Ann Thorac Surg*. 1981;32(3):250–9.
62. Xu W-D, Gu Y-D, Xu J-G, Tan L-J. Full-length phrenic nerve transfer by means of video-assisted thoracic surgery in treating brachial plexus avulsion injury. *Plast Reconstr Surg*. 2002;110(1):104–9.
63. Chalidapong P, Sananpanich K, Kraisarin J, Bumroongkit C. Pulmonary and biceps function after intercostal and phrenic nerve transfer for brachial plexus injuries. *J Hand Surg Br*. 2004;29(1):8–11.
64. Luedemann W, Hamm M, Blömer U, Samii M, Tatagiba M. Brachial plexus neurotization with donor phrenic nerves and its effect on pulmonary function. *J Neurosurg*. 2002;96(3):523–6.
65. Xu W-D, Gu Y-D, Liu J-B, Yu C, Zhang C-G, Xu J-G. Pulmonary function after complete unilateral phrenic nerve transection. *J Neurosurg*. 2005;103(3):464–7.
66. Chuang M-L, Chuang DCC, Lin I-F, Vintch JRE, Ker JJW, Tsao TCY. Ventilation and Exercise Performance After Phrenic Nerve and Multiple Intercostal Nerve Transfers for Avulsed Brachial Plexus Injury. *Chest*. 2005;128(5):3434–9.
67. Gu YD, Zhang GM, Chen DS, Yan JG, Cheng XM, Chen L. Seventh cervical nerve root transfer from the contralateral healthy side for treatment of brachial plexus root avulsion. *J Hand Surg Br*. 1992;17(5):518–21.

68. Zhang C-G, Ma J-J, Terenghi G, Mantovani C, Wiberg M. Phrenic nerve transfer in the treatment of brachial plexus avulsion: An experimental study of nerve regeneration and muscle morphology in rats. *Microsurgery*. 2004;24(3):232-40.
69. Zhang X, Peng Y. Investigation on the innervation of the diaphragm by retrograde labeling with fluorescent tracer. *Chin J Hand Surg*. 1994;10:16A-17A.
70. Terzis JK, Kostas I, Soucacos PN. Restoration of shoulder function with nerve transfers in traumatic brachial plexus palsy patients. *Microsurgery*. 2006;26(4):316-24.
71. Vekris MD, Beris AE, Johnson EO, Korobilias A V, Pafilas D, Vekris AD, et al. Musculocutaneous neurotization to restore elbow flexion in brachial plexus paralysis. *Microsurgery*. 2006;26(4):325-9.
72. Hou Z, Xu Z. Nerve transfer for treatment of brachial plexus injury: comparison study between the transfer of partial median and ulnar nerves and that of phrenic and spinal accessory nerves. *Chinese J Traumatol*. 2002;5(5):263-6.
73. Chuang D, Mardini S. Extended phrenic nerve transfer. *Plast Reconstr Surg*. 2003;112:354-6.
74. Kawai H, Kawabata H, Masada K, Ono K, Yamamoto K, Tsuyuguchi Y, et al. Nerve repairs for traumatic brachial plexus palsy with root avulsion. *Clin Orthop Relat Res*. 1988;237:75-86.
75. Songcharoen P. Brachial plexus injury in Thailand: a report of 520 cases. *Microsurgery*. 1995;16(1):35-9.
76. El-Gammal TA, Fathi NA. Outcomes of surgical treatment of brachial plexus injuries using nerve grafting and nerve transfers. *J Reconstr Microsurg*. 2002;18(1):7-15.
77. 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 Am*. 1994;19(2):232-7.
78. Chuang D. Brachial plexus injury: nerve reconstruction and functioning muscle transplantation. *Semin Plast Surg*. 2010;24(1): 57-66.
79. Finkelstein DI, Dooley PC, Luff AR. Recovery of muscle after different periods of denervation and treatments. *Muscle Nerve*. 1993;16(7):769-77.
80. S Sunderland. *Nerves and nerve injuries* 2nd Edition. New York: Churchill Livingstone; 1978.

81. RD A.. Diseases in muscle: a study in pathology. New York: Harper & Row; 1975. 112-30 p.
82. Thesleff S. Trophic functions of the neuron. II. Denervation and regulation of muscle. Physiological effects of denervation of muscle. *Ann N Y Acad Sci.* 1974;228(0):89-104.
83. Lomo T, Westgaard RH. Further studies on the control of ACh sensitivity by muscle activity in the rat. *J Physiol.* 1975;252(3):603-26.
84. Brown BA. Internal neurolysis in treatment of traumatic peripheral nerve lesions. *Calif Med.* 1969;110(6):460-2.
85. Holland NR. Intraoperative electromyography. *J Clin Neurophysiol.* 2002;19(5):444-53.
86. Nazzi V, Cordella R, Messina G, Dones I, Franzini A. Role of intra-operative neurophysiologic monitoring during decompression and neurolysis after peripheral nerve injury: Case report. *Somatosens Mot Res.* 2012;29(4):117-21.
87. Nazzi V, Cordella R, Messina G, Dones I, Franzini A. Role of intra-operative neurophysiologic monitoring during decompression and neurolysis after peripheral nerve injury: Case report. *Somatosens Mot Res.* 2012;29(4):117-21.
88. Fairbairn NG, Meppelink AM, Ng-Glazier J, Randolph MA, Winograd JM. Augmenting peripheral nerve regeneration using stem cells: A review of current opinion. *World J Stem Cells.* 2015;7(1):11.
89. Chan KM, Gordon T, Zochodne DW, Power HA. Improving peripheral nerve regeneration: From molecular mechanisms to potential therapeutic targets. *Exp Neurol.* 2014;261:826-35.
90. Konofaos P, Ver Halen J. Nerve Repair by Means of Tubulization: Past, Present, Future. *J Reconstr Microsurg.* 2013;29(03):149-64.
91. Lopatina T, Kalinina N, Karagyaur M, Stambolsky D, Rubina K, Revischin A, et al. Adipose-Derived Stem Cells Stimulate Regeneration of Peripheral Nerves: BDNF Secreted by These Cells Promotes Nerve Healing and Axon Growth *De Novo.* Egles C, editor. *PLoS One.* 2011;6(3):e17899.
92. Salgado AJBOG, Reis RLG, Sousa NJC, Gimble JM. Adipose tissue derived stem cells secretome: soluble factors and their roles in regenerative medicine. *Curr Stem Cell Res Ther.* 2010;5(2):103-10.
93. Dezawa M, Takahashi I, Esaki M, Takano M, Sawada H. Sciatic nerve regeneration in rats induced by transplantation of in vitro differentiated bone-marrow stromal cells. *Eur J Neurosci.* 2001;14(11):1771-6.

94. Erba P, Mantovani C, Kalbermatten DF, Pierer G, Terenghi G, Kingham PJ. Regeneration potential and survival of transplanted undifferentiated adipose tissue-derived stem cells in peripheral nerve conduits. *J Plast Reconstr Aesthetic Surg.* 2010;63(12):e811-7.
95. Nijhuis THJ, Bodar CWJ, van Neck JW, Walbeehm ET, Siemionow M, Madajka M, et al. Natural conduits for bridging a 15-mm nerve defect: Comparison of the vein supported by muscle and bone marrow stromal cells with a nerve autograft. *J Plast Reconstr Aesthetic Surg.* 2013;66(2):251-9.
96. Bertelli JA, Ghizoni MF. Results and current approach for Brachial Plexus reconstruction. *J Brachial Plex Peripher Nerve Inj.* 2011;6(1):2.
97. Zhang C-G, Dong Z, Gu Y-D. Restoration of hand function in C7-T1 brachial plexus palsies using a staged approach with nerve and tendon transfer. *J Neurosurg.* 2014;121(5):1264-70.
98. Aszmann OC, Roche AD, Salminger S, Paternostro-Sluga T, Herceg M, Sturma A, et al. Bionic reconstruction to restore hand function after brachial plexus injury: a case series of three patients. *Lancet (London, England).* 2015;385(9983):2183-9.
99. Aszmann OC, Roche AD, Salminger S, Paternostro-Sluga T, Herceg M, Sturma A, et al. Bionic reconstruction to restore hand function after brachial plexus injury: a case series of three patients. *Lancet.* 2015;385(9983):2183-9.
100. Hruby LA, Sturma A, Mayer JA, Pittermann A, Salminger S, Aszmann OC. Algorithm for bionic hand reconstruction in patients with global brachial plexopathies. *J Neurosurg.* 2017;127(5):1163-71.