

Kết quả chuyển thần kinh điều trị liệt hoàn toàn đám rối cánh tay do nhổ các rễ thần kinh

Nguyễn Viết Ngọc*, Lê Văn Đoàn, Nguyễn Văn Phú và cộng sự

Bệnh viện Trung ương Quân đội 108

Ngày nhận bài 18/4/2019; ngày chuyển phản biện 22/4/2019; ngày nhận phản biện 21/5/2019; ngày chấp nhận đăng 30/5/2019

Tóm tắt:

Phẫu thuật điều trị liệt hoàn toàn đám rối thần kinh (TK) cánh tay do nhổ tất cả các rễ TK hiện nay vẫn là một thách thức lớn đối với cả nguồn cho và kỹ thuật phục hồi. Nghiên cứu này nhằm đánh giá kết quả với nguồn cho và kỹ thuật phục hồi thống nhất ở 30 bệnh nhân (BN) được phẫu thuật. 30 BN bị nhổ hoặc đứt sát lỗ ghép tất cả các rễ đám rối TK cánh tay, được phẫu thuật chuyển trực tiếp TK XI cho TK trên vai, toàn bộ rễ C7 từ bên lành phục hồi TK cơ bì, nhánh trước TK nách và TK giữa qua 2 đoạn ghép TK trụ có mạch nuôi. Đánh giá kết quả sau mổ trên 24 tháng theo thang điểm của Hội đồng nghiên cứu y học Anh (BMRC) cho thấy, giạng vai $\geq 91^\circ$ (M3) là 22/30 (73,3%); gấp khuỷu, gấp cổ tay và các ngón tay đạt $\geq M3$ lần lượt là 23/30 (76,7%), 13/30 (43,3%) và 8/30 (26,7%), phục hồi cảm giác ở bàn tay mức $\geq S2$ là 24/30 (80%) BN. Chuyển TK XI cho TK trên vai và chuyển toàn bộ rễ C7 bên lành phục hồi TK cơ bì, nhánh trước TK nách và TK giữa qua 2 đoạn ghép TK trụ có mạch nuôi là phẫu thuật hiệu quả, an toàn với nguồn cho ổn định.

Từ khóa: chuyển rễ C7 đối bên, đám rối TK cánh tay.

Chỉ số phân loại: 3.2

Đặt vấn đề

Phẫu thuật điều trị tổn thương nhổ hoặc đứt sát lỗ ghép tất cả các rễ TK đám rối cánh tay (ĐRCT) hiện nay vẫn là một thách thức lớn, phương pháp điều trị duy nhất là sử dụng TK ngoài đám rối để chuyển phục hồi TK quan trọng bên tổn thương. Hiện nay, đường hướng chung là chuyển nhiều nguồn TK để phục hồi đồng thời những động tác quan trọng của chi thể và sử dụng đoạn TK ghép có mạch nuôi.

Những chức năng quan trọng của chi trên được nhiều tác giả đồng thuận lựa chọn để phục hồi đối với loại tổn thương này là giạng vai, gấp khuỷu, gấp cổ - bàn tay và cảm giác bàn - ngón tay.

Từ tháng 10/2012 đến nay, chúng tôi đã tiến hành phẫu thuật phục hồi đồng thời các chức năng nêu trên trong một cuộc mổ, đó là chuyển nối trực tiếp TK XI cho TK trên vai, chuyển rễ C7 bên lành cho TK cơ bì, TK nách và TK giữa với 2 đoạn ghép là TK trụ có mạch nuôi đi qua đường hầm sau xương đòn và trước khí quản. Mục tiêu của nghiên cứu này nhằm đánh giá kết quả của phẫu thuật, tính an toàn và ổn định của nguồn cho.

Đối tượng và phương pháp

Đối tượng

30 BN bị liệt hoàn toàn ĐRCT do nhổ hoặc đứt sát lỗ

ghép toàn bộ các rễ TK, được phẫu thuật từ tháng 7/2015-11/2016 tại Bệnh viện Trung ương Quân đội 108.

Tiêu chuẩn lựa chọn BN: BN được chẩn đoán nhổ, đứt tất cả các rễ TK ĐRCT qua khám lâm sàng và chẩn đoán hình ảnh (chụp MRI, CT-myelography). Thời gian từ khi tổn thương đến khi được mổ < 6 tháng. BN < 50 tuổi và đồng ý phẫu thuật. Các khớp vai, khuỷu, cổ tay và các khớp ở ngón tay bên liệt mềm mại. Không có tổn thương đưng dập, xơ hóa nặng các cơ vùng vai, khu trước cánh tay, cẳng tay và không có chống chỉ định của bệnh lý toàn thân.

Tiêu chuẩn loại trừ: BN đến muộn > 6 tháng, > 50 tuổi. Tổn thương sẹo co kéo vùng nách, cánh tay và khuỷu, các cơ vùng trên vai, dưới vai, khu trước cánh tay, cẳng tay bị tổn thương nặng. Cứng khớp vai, khuỷu hoặc hạn chế vận động thụ động nhiều. Có các bệnh lý toàn thân nặng, không cho phép phẫu thuật.

Phương pháp và quy trình phẫu thuật

- Nghiên cứu theo phương pháp quan sát mô tả, phân tích lâm sàng, theo dõi dọc, không nhóm chứng.

- Kỹ thuật được thực hiện qua 8 bước thứ tự như sau:

+ Rạch da theo đường ngang phía trên xương đòn 2 cm, từ bờ ngoài cơ ức - đòn - chũm kéo ra sau, bộc lộ đánh giá tổn thương ĐRCT. Tìm động mạch cổ ngang nông, tĩnh

*Tác giả liên hệ: Email: ngocnvhanoi108@gmail.com

Results of nerve transfer surgery in the treatment of total root avulsion type brachial plexus injuries

Viet Ngoc Nguyen*, Van Doan Le, Van Phu Nguyen, et al.

108 Military Central Hospital

Received 18 April 2019; accepted 30 May 2019

Abstract:

Surgical treatment in patients with total root avulsion type brachial plexus injuries is a major challenge in both donor sources of nerves and techniques. This study aims to assess the outcomes in 30 patients who had surgeries, with the unity of donor nerves and technique. 30 patients with total root avulsion or rupture brachial plexus injuries were treated with the accessory nerve (XI) to the suprascapular nerve transfer, and the total contralateral C7 to musculocutaneous, axillary, and median nerve transfer with 2 segments of vascularized ulnar nerve grafts in a surgery. The results were evaluated by BMRC, with the follow-up period of 18 months after surgery. Shoulder abduction angle $\geq 91^\circ$ accounted for 73.3% (n=22/30); elbow flexion, wrist flexion, and finger flexion $\geq M3$ accounted for 76.7% (n=23/30), 43.3% (n=13/30), and 26.7% (n=8/30), respectively. The sensory recovery of the hand at level $\geq S2$ was found in 80% (n=24/30) patients. The accessory nerve (XI) to suprascapular nerve transfer surgery and the total contralateral C7 nerve to musculocutaneous, axillary, and median nerve transfer surgery with 2 segments of vascularized ulnar nerve grafts were safe and effective with stable donor nerves.

Keywords: brachial plexus injury, contralateral C7 transfer.

Classification number: 3.2

mạch cổ nông, TK XI và TK trên vai.

+ Rạch da như bên tổn thương, bóc lộ đầy đủ tất cả các rễ TK của ĐRCT và xác định đánh dấu rễ C7.

+ Tạo một đường hầm trước khí quản sang bên đối diện và đặt chỉ chờ.

+ Rạch da chữ S, từ thành trước nách qua bờ dưới cơ ngực lớn đến hố nách và tới 1/3 trên cánh tay. Phẫu tích tìm TK cơ bì, TK nách, TK giữa (gồm cả rễ trong và rễ ngoài) và TK trụ.

+ Phẫu tích tạo đường hầm từ hố nách, đi sau xương đòn lên vùng tam giác cổ sau và đặt chỉ chờ.

+ Đặt ga rô sát nách, rạch da zíc zắc dọc theo đường đi của TK trụ, từ đầu dưới của đường rạch hố nách - cánh tay tới cổ tay. Bóc tách lấy TK trụ đi cùng bó mạch trụ từ nếp gấp cổ tay đến sát nguyên ủy. Tại vùng nguyên ủy, tách bao ngoài và cắt TK trụ sao cho không gây tổn thương mạch đi vào nuôi TK ở vùng này.

+ Luồn đoạn ghép TK trụ qua đường hầm và nối động mạch trụ vào động mạch cổ ngang nông, tĩnh mạch trụ với tĩnh mạch cổ nông, nối các mối nối TK bằng kỹ thuật vi phẫu.

+ Đóng các vết mổ 2 lớp. Khi đóng vết mổ vùng cổ bên tổn thương, chú ý đặt mối nối động mạch trụ với động mạch cổ ngang ngay dưới đường khâu da để theo dõi sự lưu thông của động mạch bằng ống nghe siêu âm Doppler.

Tiêu chuẩn đánh giá kết quả

Đánh giá kết quả phục hồi chức năng về vận động và cảm giác của TK nhận theo các chỉ tiêu của Hội đồng nghiên cứu y học Anh [1]. Sức cơ từ M0-M5, cảm giác từ S0-S4.

Kết quả

Sự phục hồi giạng vai (TK trên vai, mũ): 30 BN được theo dõi trên 24 tháng, trung bình $30,5 \pm 4,5$ tháng ($24 \div 40$ tháng) sau mổ, phục hồi giạng vai thể hiện ở bảng 1.

Bảng 1. Phục hồi giạng vai (n=30 BN).

TGSM	Kết quả	Phục hồi giạng vai				Tổng
		$<45^\circ$	$45^\circ < 90^\circ$	$90^\circ < 120^\circ$	$>120^\circ$	
24÷30 tháng		3	3	6	0	12
31÷40 tháng		0	2	12	4	18
Tổng	Số lượng	3	5	18	4	30
	Phần trăm	10	16,7	60	13,3	100

Ghi chú: TGSM là thời gian sau mổ.

Kết quả bảng 1 cho thấy, 100% BN phục hồi động tác giạng vai, trong đó có 22/30 BN (73,3%) có góc giạng vai $\geq 90^\circ$ (sức cơ $\geq M3$).

Sự phục hồi của TK cơ bì: kết quả phục hồi TK cơ bì được thể hiện ở bảng 2.

Bảng 2. Phục hồi gấp khuỷu (n=30 BN).

TGSM	Kết quả	Phục hồi gấp khuỷu					Tổng
		M0	M1	M2	M3	M4	
24÷30 tháng		1	1	3	5	2	12
31÷40 tháng		0	0	2	11	5	18
Tổng	Số lượng	1	1	5	16	7	30
	Phần trăm	3,3	3,3	16,7	53,3	23,4	100

Kết quả bảng 2 cho thấy, tỷ lệ phục hồi gấp khuỷu là 29/30 BN (96,7%), trong đó phục hồi mức $\geq M3$ là 23/30 BN (76,7%).

Sự phục hồi của TK giữa: kết quả phục hồi TK giữa thể hiện ở bảng 3, 4 và 5.

Bảng 3. Phục hồi gấp cổ tay (n=30 BN).

TGSM	Kết quả	Phục hồi gấp cổ tay					Tổng
		M0	M1	M2	M3	M4	
24÷30 tháng		5	2	2	3	0	12
31÷40 tháng		2	2	4	8	2	18
Tổng	Số lượng	7	4	6	11	2	30
	Phần trăm	23,3	13,3	20	36,7	6,7	100

Kết quả bảng 3 cho thấy, tỷ lệ phục hồi gấp cổ tay là 23/30 BN (76,7%), trong đó phục hồi mức $\geq M3$ trở lên là 13/30 BN (43,3%).

Bảng 4. Phục hồi gấp các ngón tay (n=30 BN).

TGSM	Kết quả	Phục hồi gấp ngón tay					Tổng cộng
		M0	M1	M2	M3	M4	
24÷30 tháng		7	2	1	2	0	12
31÷40 tháng		2	3	7	6	0	18
Tổng	Số lượng	9	5	8	8	0	30
	Phần trăm	30	16,6	26,7	26,7	0	100

Kết quả bảng 4 cho thấy, tỷ lệ phục hồi gấp ngón tay là 21/30 BN (70%), có 8/30 BN (26,7%) phục hồi từ M3 trở lên.

Bảng 5. Phục hồi cảm giác bàn - ngón tay (n=30 BN).

TGSM	Kết quả	Phục hồi cảm giác bàn ngón tay					Tổng
		S0	S1	S2	S2+	S3	
24÷30 tháng		2	4	4	2	0	12
31÷40 tháng		0	0	10	6	2	18
Tổng	Số lượng	2	4	14	8	2	30
	Phần trăm	6,7	13,3	46,6	26,7	6,7	100

Kết quả bảng 5 cho thấy, 28/30 BN (93,3%) sau mổ phục hồi cảm giác, có 24/30 BN (80%) phục hồi ở mức $\geq S2$ (ngưỡng cảm giác bảo vệ).

Bàn luận

Về kết quả của phẫu thuật

Động tác giạng vai và gấp khuỷu là rất quan trọng của chi trên, được ưu tiên hàng đầu trong phẫu thuật phục hồi chi liệt. Nhìn chung, các tác giả đều thống nhất phục hồi giạng vai $\geq 91^\circ$ (M3) và gấp khuỷu đạt M3 trở lên được xem là có ý nghĩa [2, 3]. Kết quả nghiên cứu của chúng tôi ở bảng 1 và 2 cho thấy, tỷ lệ phục hồi giạng vai $\geq 90^\circ$ là 22/30 BN (73,3%) và gấp khuỷu đạt M3 trở lên là 23/30 BN (76,7%). Trong đó, tỷ lệ sức giạng vai $\geq 120^\circ$ là 4/30 BN (13,3%) và gấp khuỷu đạt M4 là 7/30 BN (23,4%) với khả năng nâng tạ trung bình là 2 kg. Nghiên cứu của Chuang và cs [2] trên 23 BN phục hồi đồng thời TK cơ bì và TK giữa qua một đoạn ghép TK trụ với thời gian theo dõi tối thiểu 4 năm cho thấy, phục hồi gấp khuỷu mức M3 trở lên là 83%. Một nghiên cứu khác của Gao và cs [4] trên 22 BN cũng với phương pháp phẫu thuật như trên, với thời gian theo dõi tối thiểu là 4 năm thì tỷ lệ phục hồi gấp khuỷu đạt M3 trở lên là 66,7%. Như vậy, kết quả của chúng tôi là rất khích lệ.

Về kết quả phục hồi của TK giữa, báo cáo của Waikakul và cs [5] ở 96 BN với kỹ thuật chuyển nửa rễ C7 cho TK giữa có thời gian theo dõi trên 3 năm cho thấy, tỷ lệ phục hồi gấp cổ tay và gấp các ngón tay từ M3 trở lên lần lượt là 29 và 21%. Với kỹ thuật tương tự, kết quả nghiên cứu của Songcharoen và cs [6] cho thấy tỷ lệ phục hồi gấp cổ tay và các ngón tay là 29%. Báo cáo của Chuang và cs [2] ở 23 BN được phẫu thuật chuyển toàn bộ rễ C7 bên lành cho TK cơ bì và TK giữa với thời gian theo dõi trên 4 năm thì tỷ lệ phục hồi gấp khuỷu là 82,6% và gấp cổ tay - các ngón tay đạt M3 trở lên là 39%. Trong nghiên cứu của chúng tôi, bảng 3 và 4 cho thấy tỷ lệ phục hồi gấp cổ tay và gấp các ngón tay đạt M3 trở lên lần lượt là 13/30 BN (43,3%) và 8/30 BN (26,7%), kết quả này cũng đáng khích lệ.

Phục hồi cảm giác ở mức bảo vệ $\geq S2$ không những có ý nghĩa quan trọng giúp BN tránh được các thương tích đối với tay liệt mà còn tham gia vào quá trình tái lập chức năng vỏ não khi người bệnh được rèn luyện một kỹ năng nhận cảm mới. Trong nghiên cứu của chúng tôi, bảng 5 cho thấy, 28/30 BN (93,3%) sau mổ trên 24 tháng phục hồi cảm giác do TK giữa chi phối ở khu vực bàn ngón tay, trong đó có 24/30 (80%) BN đạt mức $\geq S2$. Kết quả này thấp hơn so với

tỷ lệ 91,6% đạt mức $\geq S2$ trong nghiên cứu của Terzis và cs [7], 83,3% đạt mức $\geq S2$ của Waikakul và cs [5] vì thời gian đánh giá kết quả sau mổ của chúng tôi là từ 24÷40 tháng, còn của các tác giả này là trên 40 tháng. Theo thời gian khả năng phục hồi cảm giác ngày càng tăng lên.

Về tính an toàn và ưu điểm của kỹ thuật

Chiều dài đường hầm dưới da qua trước thành ngực từ bên liệt sang nền cổ bên lành ở người châu Á trong nghiên cứu của Waikakul và cs [5] là 43,5 cm, của Chuang và cs [2] là 40 cm, ở người da trắng trong nghiên cứu Terzis và cs [7] là 51 cm. Như vậy, đoạn TK ghép phải có độ dài bằng khoảng 2/3 tổng chiều dài của TK trụ từ nguyên ủy tới cổ tay và do đó chỉ có thể sử dụng được một đoạn ghép TK trụ.

Trong những nghiên cứu gần đây, một số tác giả chuyển rễ C7 bên lành qua đường hầm trước cột sống [8], theo các tác giả thì đường hầm này sẽ giảm tối đa chiều dài đoạn ghép. Tuy nhiên, tính an toàn của đường đi này không cao nên không được áp dụng rộng rãi. Theo Chuang và cs [2], đường hầm này rút ngắn được đường đi của đoạn ghép khoảng 10 cm nhưng có nhược điểm là hiện tượng dị cảm xuất hiện khi BN nuốt do đoạn ghép nằm ngay phía sau thực quản, gây khó chịu cho người bệnh.

Kỹ thuật của chúng tôi có một số ưu điểm, đó là: *thứ nhất*, đoạn ghép TK trụ được sử dụng dưới dạng vật ghép TK tự do, cấp máu cho đoạn xa của TK trụ qua cuống mạch trụ dưới được nối với động mạch cổ ngang nông và tĩnh mạch cổ nông, phần trung tâm của đoạn ghép TK trụ còn được tăng cường bởi nguồn mạch máu nhỏ được bảo tồn đi vào bao ngoài của TK ở sát nguyên ủy. Tại vị trí gấp đôi của đoạn TK ghép được mở dọc bao ngoài và cắt TK trong bao nên vẫn giữ được sự cấp máu tối ưu cho cả hai đoạn ghép, hai nguồn cấp máu có thể hỗ trợ cho nhau nên toàn bộ đoạn ghép TK trụ được cấp máu hoàn hảo, tránh được tình trạng xơ hóa trung tâm đoạn ghép [9]. *Thứ hai*, đoạn ghép được luồn qua đường hầm sau xương đòn bên tổn thương và đường hầm trước khí quản để sang bên lành. Đường đi này ngắn đáng kể so với đường hầm dưới da qua thành ngực như trong nghiên cứu của các tác giả nước ngoài, đây là yếu tố rất quan trọng cho phép sử dụng đoạn ghép TK trụ gấp đôi. Ngoài ra, theo chúng tôi, rễ C7 có 23.000 (17.000-40.000) sợi TK, trong khi TK trụ chỉ có 14.161 (10.365-22.690) sợi [10, 11] nên nếu sử dụng một đoạn ghép TK trụ thì một lượng lớn sợi trục từ rễ C7 không đi vào được đoạn ghép. Vì vậy, việc sử dụng TK trụ gấp đôi đảm bảo nhận tối đa số lượng sợi TK của C7 bên lành làm nguồn TK cho, kỹ thuật

này chúng tôi chưa thấy được báo cáo trong y văn.

Sự ổn định của nguồn cho

Chuyển nối trực tiếp TK XI cho TK trên vai phù hợp về kích thước, không qua đoạn ghép là một ưu điểm lớn cho kết quả phục hồi của TK nhận. Hơn nữa, trong tổn thương hoàn toàn ĐRCT thì gần như không có tổn thương TK XI, chúng tôi chưa tìm được báo cáo nào thống kê về số liệu này nhưng trong thực tế lâm sàng chúng tôi chưa gặp trường hợp nào liệt ĐRCT mà có kèm theo tổn thương TK XI. Một số tác giả có dùng TK hoành [12, 13] để chuyển cho TK trên vai nhưng theo chúng tôi TK hoành là rất quan trọng cho chức năng hô hấp, do vậy quan điểm của chúng tôi là không sử dụng TK hoành.

Với nguồn chuyển cho TK nách, đa số các tác giả dùng một trong các TK như: TK XI, TK hoành hoặc TK liên sườn và thường phải thực hiện qua một đoạn TK ghép kinh điển [12, 13]. Chúng tôi thực hiện chuyển rễ C7 đối bên đồng thời cho TK nách qua việc chia nhánh bì mu tay của đoạn ghép ngoại vi TK trụ cho nhánh trước TK nách, theo chúng tôi với kỹ thuật này nguồn cho là ổn định, số lượng axon đủ lớn, kích thước phù hợp và đặc biệt là đoạn TK ghép có mạch nuôi nên có ưu điểm hơn đoạn ghép kinh điển như đã phân tích ở trên, đây cũng là kỹ thuật mà chúng tôi chưa tìm thấy trong y văn.

Kết luận

Kết quả qua 30 BN được phẫu thuật chuyển TK XI cho TK trên vai và chuyển toàn bộ rễ C7 bên lành qua 2 đoạn ghép TK trụ có mạch nuôi phục hồi TK cơ bì, TK nách và TK giữa, với thời gian theo dõi và đánh giá sau mổ chưa dài (<40 tháng) kết quả đạt được 100% phục hồi giạng vai, trong đó giạng vai $\geq 91^\circ$ (M3) là 22/30 (73,3%); 29/30 (96,7%) phục hồi gấp khuỷu, trong đó gấp khuỷu đạt $\geq M3$ là 23/30 (76,7%); phục hồi gấp cổ tay là 23/30 (76,7%), có 13/30 (43,3%) BN đạt sức cơ M3; gấp ngón tay đạt 21/30 BN (70%), có 8/30 BN (26,7%) phục hồi sức cơ M3; phục hồi cảm giác ở bàn ngón tay đạt 28/30 (93,3%), mức $\geq S2$ là 24/30 (80%) BN.

Kỹ thuật chuyển nối TK XI cho TK trên vai và chuyển ghép rễ C7 bên lành với 2 đoạn ghép TK trụ có mạch nuôi, qua đường hầm sau xương đòn và trước khí quản là phẫu thuật an toàn, giảm đáng kể độ dài đoạn ghép, đoạn ghép sống ngay sau mổ, chuyển được tối đa các sợi TK của rễ C7 bên lành cho TK nhận bên liệt. Nguồn cho ổn định và kết quả phục hồi là khả quan.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được tài trợ bởi đề tài độc lập cấp quốc gia "Nghiên cứu ứng dụng và phát triển kỹ thuật vi phẫu trong điều trị tổn thương đám rối thần kinh cánh tay, đứt rời chi và chuyển ngón" (mã số ĐTĐL.CN-11/15). Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Medical Research Council (1943), *Aids to the investigation of the peripheral nervous system* London: Her Majesty's Stationary Office.
- [2] D.C. Chuang, C. Hernon (2012), "Minimum 4-year follow-up on contralateral C7 nerve transfers for brachial plexus injuries", *J. Hand Surg. Am.*, **37**(2), pp.270-276.
- [3] Y.D. Gu (1989), *Neurotization by contralateral C7*, Presented at the 9th Symposium on the brachial plexus, Villars, Switzerland.
- [4] K. Gao, et al. (2013), "Outcome of contralateral C7 transfer to two recipient nerves in 22 patients with the total brachial plexus avulsion injury", *Microsurg.*, **33**(8), pp.605-611.
- [5] S. Waikakul, et al. (1999), "Clinical results of contralateral C7 root neurotization to the median nerve in brachial plexus injuries with total root avulsions", *J. Hand Surg. Br.*, **24**(5), pp.556-560.
- [6] P. Songcharoen, et al. (2001), "Hemi-contralateral C7 transfer to median nerve in the treatment of root avulsion brachial plexus injury", *J. Hand Surg. Am.*, **26**(6), pp.1058-1064.
- [7] J.K. Terzis, V.K. Kostopoulos (2009), "Vascularized ulnar nerve graft: 151 reconstructions for posttraumatic brachial plexus palsy", *Plast. Reconstr. Surg.*, **123**(4), pp.1276-1291.
- [8] S. Wang, et al. (2012), "Contralateral C7 nerve root transfer to neurotize the upper trunk via a modified prespinal route in repair of brachial plexus avulsion injury", *Microsurg.*, **32**(3), pp.183-188.
- [9] G.I. Taylor, F.J. Ham (1975), "The free vascularized nerve graft", *Plast. Reconstr. Surg.*, **56**, pp.166-170.
- [10] F. Bonnel (1984), "Microscopic anatomy of the adult human brachial plexus: An anatomical and histological basis for microsurgery", *Microsurg.*, **5**, pp.107-117.
- [11] C.L. Slingluff, et al. (1987), "The quantitative microanatomy of the brachial plexus in man: Reconstructive relevance", *Microreconstruction of nerve injuries*.
- [12] Y. Gu, K. Meng (1996), "Use of the Phrenic Nerve for Brachial Plexus Reconstruction", *Clin. Orthop. Relat. Res.*, **323**, pp.119-121.
- [13] W.D. Xu, et al. (2005), "Pulmonary function after complete unilateral phrenic nerve transection", *J. Neurosurg.*, **103**, pp.464-467.