



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ ΙΑΤΡΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΗΣ

**Σχεδιασμός και υλοποίηση συστήματος  
επεξεργασίας εικόνας καθώς και μαθηματικών  
αλγορίθμων βελτιστοποίησης της  
μεταμόσχευσης ανθρωπίνων τριχοθυλακίων με  
την τεχνική FUE**

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**Του Γεώργιου Ζώντου**

---

**ΠΑΤΡΑ 2016**



## **Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή**

**Νικηφορίδης Γεώργιος**, Καθηγητής Τμήματος Ιατρικής - επιβλέπων  
**Καγκάδης Γεώργιος**, Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Ιατρικής  
**Σακελλαρόπουλος Γεώργιος**, Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Ιατρικής

## **Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή**

**Νικηφορίδης Γεώργιος**, Καθηγητής Τμήματος Ιατρικής - επιβλέπων  
**Καγκάδης Γεώργιος**, Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Ιατρικής  
**Σακελλαρόπουλος Γεώργιος**, Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Ιατρικής  
**Οικονόμου Γεώργιος**, Καθηγητής Τμήματος Φυσικής  
**Μεγαλοοικονόμου Βασίλειος**, Καθηγητής Τμήματος Η/Υ  
**Γεωργίου Σοφία**, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Τμήματος Ιατρικής  
**Καρναμπατίδης Δημήτριος**, Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Ιατρικής



*Στον μονάκριβο γιο μου, Αναστάσιο Αλέξανδρο*



# ABSTRACT

## Introduction

Follicular Unit Extraction (FUE) is a relatively new hair restoration technique in harvesting hair follicles from the donor area. Patient demand and recognition of this harvesting technique have increased significantly over recent years. The primary reason for FUE's popularity is the minimally invasive nature of the technique and quick healing of the donor region. FUE also does not result in a donor linear scar normally associated with the strip method.

However, the hair physician today often finds it difficult to quantify the hair loss problem of his patient. Technical difficulties associated with the measurement of important characteristics like hair and follicular units density as well as the exact surface size of the recipient area because of the irregular shape and the curvature factor make the problem more complex. In addition, the presence of native hairs within the treated area needs the calculation of hair quantity, in order to estimate the necessary number of hairs/grafts for an optimal aesthetic result. Furthermore, postoperative follow ups are mainly based on a comparison of the before and after patient picture over a period of time.

This study involves the application of mathematics and general physics concepts, theories and methods to optimize the FUE technique. It is our earnest desire to explain how the principles of medical physics and methods of mathematical modeling can be applied to reduce the follicular transection rate as well as donor-scalp injury caused by FUE donor harvesting

To that purpose, a novel integrated system named FOLLYSIS<sup>®</sup> was specifically designed so that includes a fully organized relational database and an image analysis system with statistical inference for FUE hair transplant procedures. Similarly, this system allows for the best and most effective use of the FUE technique by allowing the physician:

- To archive patient data.
- To use digital trichoscopy.
- To design the individual patient treatment planning.

- To constantly monitor each patient follow up.
- To quantify the patient outcome.

## FOLLYSIS<sup>®</sup> Desing

FOLLYSIS<sup>®</sup> design includes the following:

**Database module:** A patient based tree-like database structure was developed with three top-down levels. The top level contains detailed information regarding patient demographics and scalp condition. The next level corresponds to the hair transplant procedure performed on each patient and Information about surgical procedure is recorded. The final level concerns follow-up examinations post-operatively.

**Image Analysis Module:** Contrast enhancement filters were applied to increase the separability of hair follicles compared to the background. Segmentation algorithms were utilized to correctly separate the follicular units from the skin. Using the Delaunay triangulation algorithm, the detected units were connected in order to successfully measure and the mean intra-follicular distance. Furthermore, an automatic hair assignment algorithm was implemented. In this way, parameters such as, *a*) density of donor and recipient area (follicular units and hairs per square centimeter), *b*) mean number of hairs per follicular unit, *c*) the intra-follicular distance, were measured. Additionally, an advanced method for automatic calculation of the recipient area surface from macro-photographs was included taking into consideration the curvature of the area. Specific mathematic formulas were embodied into the system which automatically calculates the number of grafts or hair follicles that should be placed within the recipient area in order to increase the density up to a given level.

**Statistical Inference Module:** The system includes statistical procedures to perform comparisons between the donor and the recipient area calculated parameters. In this way, intra-patient correlations between the image analysis results are extracted to characterize the transplant outcome in a quantitative way.

## Results

The accuracy of the algorithm, was evaluated in 56 micro-photos (Bodelin ProScope HR2 at 640x480 pixels) taken from different patients. The sensitivity of the algorithm in correctly detecting follicular units position was 97.5% (mean) with 3.8 standard deviation. The precision of the algorithm had a mean of 98.6% with 3.1 standard deviation. Pre-operatively, the system helps the physician to precisely calculate both the surface and the grafts needed for an optimal coverage of the recipient area without wasting the donor area. Post-operatively, the hair surgeon is capable of monitoring the procedure outcome by using graphs presenting the increase in density in a time line way.

Moreover, the implementation of FOLLYSIS<sup>®</sup> in evaluating the efficacy of a method that reduces the injury to donor area caused by the punch was examined in



35 patients. The use of FOLLYSIS<sup>®</sup> proved to be invaluable in precisely calculating the decrease in skin trauma in Vertical Extraction compare to that in Acute Extraction.

## **Conclusion**

The quantification of parameters, which up until now were calculated manually or empirically, are established automatically. By utilizing image processing of micro-photographs of the recipient area, in conjunction with the aforementioned methodology, an invaluable tool can be offered which provides immediate patient data, quantifies the patient outcome and allows the physician to precisely design a hair transplant treatment planning for an optimal aesthetic result.

FOLLYSIS<sup>®</sup> seems to be a promising tool for both diagnosis and follow up treatment, by automatically measuring changes in hair density, hair diameter and hair quantity. Ultimately FOLLYSIS<sup>®</sup> enables the physician to correctly evaluate the efficiency of the technique which minimizes the injury to the donor area, allows for an easier and more effective harvesting process and results in FUE optimization.

# Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η

## Εισαγωγή

Το Follicular Unit Extraction (FUE) είναι μια σχετικά νέα τεχνική αποκατάστασης προβλημάτων τριχωτού με την εξαγωγή τριχοθυλακίων από τη δότρια περιοχή. Η ζήτηση και αναγνώριση αυτής της τεχνικής από τους ασθενείς έχουν αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Ο κυριότερος λόγος για τη δημοτικότητα του FUE είναι η ελάχιστα επεμβατική του φύση και η γρήγορη επούλωση της δότριας περιοχής. Η τεχνική FUE επίσης δεν προκαλεί εμφανή ουλή όπως συμβαίνει με τη μέθοδο strip.

Ωστόσο, ο γιατρός που ασχολείται με τη διάγνωση και θεραπεία της τριχόπτωσης σήμερα συναντά δυσκολίες στην ποσοτικοποίηση του προβλήματος της τριχόπτωσης του ασθενούς. Τέτοιες τεχνικές δυσκολίες συνδέονται με τη αδυναμία μέτρησης σημαντικών χαρακτηριστικών των μαλλιών, όπως η πυκνότητα ή το ακριβές μέγεθος της επιφάνειας της λήπτριας περιοχής, λόγω του ακανόνιστου σχήματός της. Επιπλέον, η παρουσία τριχών εντός της πάσχουσας περιοχής περιπλέκει ακόμα περισσότερο το πρόβλημα, καθιστώντας επιτακτική την ανάγκη για ακριβέστερη επίλυση του προβλήματος. Τέλος, τα μετεγχειρητικά follow ups βασίζονται κυρίως σε μια ποιοτική εκτίμηση του αποτελέσματος που προκύπτει από τη σύγκριση της πριν και μετά εικόνας του ασθενούς .

Αυτή η μελέτη περιλαμβάνει επιπλέον την εφαρμογή κατάλληλης μαθηματικής μεθοδολογίας και των αρχών της Φυσικής, ώστε να μοντελοποιηθούν και να ερμηνευτούν ορθότερα τα στάδια της τεχνικής FUE. Η φιλοδοξία μας είναι να εξηγήσουμε πώς μπορούν να εφαρμοστούν οι αρχές της Ιατρικής Φυσικής και των μεθόδων της μαθηματικής μοντελοποίησης για τη μείωση του transection rate, καθώς και του τραυματισμού της δότριας περιοχής που προκαλείται από την εξαγωγή.

Επιπλέον, σχεδιάστηκε ένα νέο ολοκληρωμένο σύστημα, που ονομάζεται FOLLYSIS<sup>®</sup> και το οποίο περιλαμβάνει μία πλήρως οργανωμένη σχεσιακή βάση δεδομένων και ένα σύστημα ανάλυσης εικόνας με στατιστική επεξεργασία για τις μεταμοσχεύσεις με τη χρήση της FUE τεχνικής. Ομοίως, το σύστημα αυτό παρέχει τη

δυνατότητα για καλύτερη και πιο αποτελεσματική χρήση της τεχνικής FUE, επιτρέποντας στον ιατρό:

- Να αρχειοθετεί δεδομένα των ασθενών.
- Να χρησιμοποιεί ψηφιακή τριχοσκόπηση.
- Να σχεδιάζει το εξατομικευμένο treatment planning του ασθενούς.
- Να καταγράφει κάθε follow up.
- Να ποσοτικοποιεί το αποτέλεσμα του κάθε ασθενούς.

### Σχεδιασμός του FOLLYSIS<sup>®</sup>

Ο σχεδιασμός του FOLLYSIS<sup>®</sup> βασίζεται στα πάρα κάτω:

**Database:** Αναπτύχθηκε μια σχεσιακή βάση δεδομένων, που περιλαμβάνει τρία κύρια επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο περιέχει λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τα δημογραφικά στοιχεία του ασθενούς καθώς και την κατάσταση του τριχωτού. Το επόμενο επίπεδο αντιστοιχεί στη διαδικασία μεταμόσχευσης μαλλιών που πραγματοποιείται σε κάθε ασθενή καθώς και πληροφορίες σχετικά με τη χειρουργική επέμβαση. Το τελικό επίπεδο περιλαμβάνει follow ups, τα οποία πραγματοποιούνται μετεγχειρητικά.

**Ανάλυση Εικόνας:** Φίλτρα ενίσχυσης της αντίθεσης εφαρμόστηκαν για να αυξήσουν την ικανότητα αναγνώρισης των τριχών από το background της επιδερμίδας. Αλγόριθμοι τμηματοποίησης χρησιμοποιήθηκαν για να διαχωριστούν με ακρίβεια τα τριχοθυλάκια από το δέρμα. Τα ανιχνευμένα τριχοθυλάκια συνδέθηκαν με τη χρήση του αλγορίθμου τριγωνοποίησης Delaunay ώστε να υπολογιστεί η μέση απόσταση μεταξύ τους. Αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος για τον αυτόματο προσδιορισμό των τριχών. Έτσι κατέστη δυνατόν να μετρηθούν με ακρίβεια παράμετροι όπως: α) η πυκνότητα της δότριας και της λήπτριας περιοχής (τριχοθυλάκια και τρίχες ανά τετραγωνικό εκατοστό), β) ο μέσος αριθμός τριχών ανά τριχοθυλάκιο, γ) η μέση απόσταση των τριχοθυλακίων. Επιπλέον, έχει συμπεριληφθεί μια προηγμένη μέθοδος για τον αυτόματο υπολογισμό της επιφάνειας της λήπτριας περιοχής με τη χρήση φωτογραφιών, λαμβάνοντας υπόψη την καμπυλότητά της. Ειδικοί μαθηματικοί τύποι ενσωματώθηκαν στο σύστημα, το οποίο υπολογίζει αυτόματα τον αριθμό των μοσχευμάτων ή τριχοθυλακίων που θα πρέπει να τοποθετηθούν στην πάσχουσα περιοχή για να αυξηθεί η πυκνότητα στο επιθυμητό επίπεδο.

**Στατιστικά Στοιχεία:** Με τη στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων των ανωτέρω παραμέτρων της δότριας και λήπτριας ζώνης, το σύστημα προβαίνει σε ποσοτική σύγκριση του τριχωτού των δυο περιοχών. Η ποσοτικοποίηση σημαντικών παραμέτρων του τριχωτού και η αυτόματη στατιστική επεξεργασία τους μετά από επεξεργασία εικόνας διευκολύνει τον ιατρό να αξιολογήσει αντικειμενικότερα το τελικό αποτέλεσμα.

## Αποτελέσματα

Η ακρίβεια του αλγορίθμου αξιολογήθηκε σε 56 μικρο-φωτογραφίες (Bodelin ProScope HR2 στο 640x480 pixels) που ελήφθησαν από διαφορετικούς ασθενείς. Η ευαισθησία του αλγορίθμου στην ακριβή ανίχνευση της θέσης των τριχοθυλακίων ήταν 97,5 % (μέσος όρος) με 3,8 τυπική απόκλιση. Η ακρίβεια του αλγορίθμου είχε μέση τιμή 98,6% με 3,1 τυπική απόκλιση. Προεγχειρητικά, το σύστημα βοηθά τον ιατρό να υπολογίσει με ακρίβεια τόσο την επιφάνεια όσο και τα μοσχεύματα που απαιτούνται για τη βέλτιστη κάλυψη της πάσχουσας περιοχής, αποφεύγοντας την κατασπατάληση της δότριας ζώνης ή τον τραυματισμό των προϋπαρχόντων τριχοθυλακίων στην λήπτρια περιοχή. Μετεγχειρητικά, ο χειρουργός έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί το αποτέλεσμα της επέμβασης χρησιμοποιώντας γραφικές παραστάσεις, απεικονίζοντας την αλλαγή της πυκνότητας σε συνάρτηση με το χρόνο.

Η αποτελεσματικότητα μιας τροποποιημένης τεχνικής του FUE, ώστε να μειωθεί ο τραυματισμός της δότριας περιοχής κατά τη διαδικασία της εξαγωγής, αξιολογήθηκε σε 35 ασθενείς. Το FOLLYSIS<sup>®</sup> συνέβαλε καθοριστικά στον υπολογισμό εντυπωσιακής μείωσης του τραυματισμού του δέρματος με την τεχνική Vertical Extraction σε σχέση με την επικρατούσα Acute Extraction αποδεικνύοντας την υπεροχή της πρώτης έναντι της δεύτερης.

## Συμπεράσματα

Η ποσοτικοποίηση των παραμέτρων, οι οποίες μέχρι τώρα υπολογίζονταν εμπειρικά, πλέον πραγματοποιούνται αυτόματα. Η μέθοδος επεξεργασίας εικόνας των μικρο-φωτογραφιών της λήπτριας περιοχής, σε συνδυασμό με την προαναφερθείσα μεθοδολογία, απλοποιεί την τριχοσκόπηση ενώ παρέχει ένα ανεκτίμητο εργαλείο το οποίο ενημερώνει άμεσα τον ιατρό με χρήσιμες πληροφορίες για την κατάσταση του τριχωτού του ασθενούς. Έτσι, η ποσοτικοποίηση παραμέτρων που σχετίζονται με την τριχόπτωση καθιστά το σχεδιασμό ενός ολοκληρωμένου treatment planning απόλυτα εφικτό, επιτρέποντας την ορθολογικότερη χρήση της δότριας περιοχής για το καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα.

Το FOLLYSIS<sup>®</sup> είναι ένα πολλά υποσχόμενο εργαλείο για τη διάγνωση, θεραπεία και παρακολούθηση της πορείας του ασθενούς, παρέχοντας αυτοματοποιημένες μετρήσεις της αλλαγής στην πυκνότητα των μαλλιών, καταγράφοντας σημαντικά μεγέθη του τριχωτού της κεφαλής. Επιπλέον, η συμβολή του στην αξιολόγηση τεχνικών, που ελαχιστοποιούν τον τραυματισμό στη δότρια ζώνη και κάνουν αποτελεσματικότερη την εξαγωγή, συντελεί αποφασιστικά στη βελτιστοποίηση του FUE.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>15</b>
<b>Α΄ ΜΕΡΟΣ – ΓΕΝΙΚΑ.....</b>	<b>19</b>
<b>1. ΤΡΙΧΟΠΤΩΣΗ.....</b>	<b>21</b>
Παθοφυσιολογία	
Αιτίες.....	24
Ιατρική αντιμετώπιση.....	25
Υπόβαθρο χειρουργικής θεραπείας.....	27
<b>2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΜΟΣΧΕΥΣΗΣ ΤΡΙΧΟΘΥΛΑΚΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ FUE</b> <b>.....</b>	<b>31</b>
Περιγραφή	
Ενδείξεις και αντενδείξεις.....	35
<b>Β΄ ΜΕΡΟΣ – ΕΙΔΙΚΑ.....</b>	<b>37</b>
<b>3. ΦΥΣΙΚΗ ΤΟΥ FUE.....</b>	<b>39</b>
Πρόλογος	
Μαθηματική εισαγωγή στις θεμελιώδεις αρχές του FUE.....	39
Το μοντέλο της γωνίας έκφυσης.....	42
Αποτελέσματα.....	44
Ο ρόλος της γωνίας έκφυσης στον τραυματισμό της δότριας ζώνης.....	46
Το μοντέλο της διαδικασίας εξαγωγής.....	47
Η μηχανική του FUE.....	53
Συζήτηση.....	59
<b>4. FOLLYSIS<sup>®</sup> .....</b>	<b>62</b>
Δομή και σχεδιασμός του FOLLYSIS <sup>®</sup> .....	62
- Βάση δεδομένων.....	62
- Δομή και σχεδιασμός.....	63
Χειρουργική θεραπεία.....	65
- α' Treatment Planning.....	65
- β' Χειρουργικό έντυπο.....	68

Η επεξεργασία εικόνας με το FOLLYSIS <sup>®</sup> .....	71
- α' Επεξεργασία μακροφωτογραφιών.....	72
- β' Επεξεργασία μικροφωτογραφιών.....	77
Μετρητικά εργαλεία του FOLLYSIS <sup>®</sup> .....	82
Έλεγχος και αξιοποίηση της διαδικασίας αυτόματης ανίχνευσης τριχοθυλακίων από το FOLLYSIS <sup>®</sup> .....	85
Στατιστική επεξεργασία.....	89
Εφαρμογή του FOLLYSIS <sup>®</sup> στην κλινική πράξη.....	91
Συμπεράσματα.....	95
<b>5. Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ FOLLYSIS<sup>®</sup> ΣΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ FUE.....</b>	<b>96</b>
Σκοπός.....	98
Υλικά και μέθοδοι.....	98
Πρωτόκολλο.....	101
Στατιστική ανάλυση και επεξεργασία εικόνας.....	102
Αποτελέσματα.....	102
Συζήτηση.....	108
<b>6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....</b>	<b>111</b>
<b>Γ' ΜΕΡΟΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....</b>	<b>117</b>
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α'.....	118
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β'.....	119
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ'.....	121
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>125</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα δεκατρία χρόνια της ενασχόλησής μου ως χειρουργός αποκατάστασης του τριχωτού της κεφαλής έχω διαπιστώσει πως η διάγνωση, αξιολόγηση και θεραπεία του προβλήματος της τριχόπτωσης του ασθενούς είναι σε μεγάλο βαθμό εμπειρική.

Ο ειδικός ιατρός, που καλείται να εκτιμήσει και να αποκαταστήσει την αραίωση του τριχωτού ή και την όποια έκταση φαλακρής περιοχής, στηρίζεται κυρίως στην εμπειρία του, ενώ διαθέτει ελάχιστα τεχνικά μέσα που θα του επιτρέψουν να διαμορφώσει μια πιο αντικειμενική και ακριβή εικόνα του προβλήματος του ασθενούς του.

Έτσι, αν και στους υπόλοιπους τομείς της Ιατρικής η διάγνωση και θεραπεία επικουρείται με την εφαρμογή πληθώρας τεχνολογικών εφαρμογών και εξελιγμένων μεθόδων ιατρικής απεικόνισης, στον τομέα της μεταμόσχευσης μαλλιών υπάρχει ένδεια διαγνωστικών μέσων, τα οποία περιορίζονται συνήθως σε μεγεθυντικούς φακούς και λιγότερο σε κάποιες μικροκάμερες που συνιστούν μια ποιοτική μάλλον εκτίμηση του προβλήματος του ασθενούς παρά μια ακριβή ποσοτικοποίησή του. Επιπλέον, η χειρουργική αποκατάσταση της αραίωσης ή φαλακρής περιοχής του τριχωτού, είτε με την μέθοδο FUE είτε με τη μέθοδο strip, γίνεται με τη μεταφορά τριχοθυλακίων από τη ζώνη σταθερής τριχοφυΐας – δότρια ζώνη – προς την πάσχουσα περιοχή. Ο αριθμός αυτός είναι εν ολίγοις εμπειρικός και η προσδοκώμενη αύξηση της πυκνότητας στην πάσχουσα περιοχή δεν είναι σαφώς προκαθορισμένη, κι έτσι αρκετά συχνά είτε γίνεται αλόγιστη χρήση των τριχοθυλακίων της δότριας περιοχής είτε τραυματίζονται τριχοθυλάκια στη λήπτρια περιοχή.

Τέλος, η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας μιας φαρμακευτικής ή χειρουργικής θεραπείας βασίζεται στη σύγκριση διά γυμνού οφθαλμού μιας φωτογραφίας της πάσχουσας περιοχής προ της θεραπείας με άλλες, που λαμβάνονται σε διάφορες χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια της θεραπείας ή μετά την επέμβαση. Η ποσοτικοποίηση, επομένως, του προβλήματος της αραίωσης του ασθενούς που πάσχει από τριχόπτωση με τη βοήθεια κατάλληλου υπολογιστικού συστήματος επεξεργασίας εικόνας είναι πολύ σημαντικός.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου συστήματος, που θα προσφέρει τη δυνατότητα στον σύγχρονο επαγγελματία ιατρό, που ασχολείται με προβλήματα διάγνωσης και θεραπείας της τριχόπτωσης, να προβεί σε ακριβή καταγραφή και ποσοτικοποίηση του προβλήματος του ασθενούς του, να σχεδιάσει με ακρίβεια το πλάνο της επέμβασης

που είναι αναγκαίο για την αποκατάσταση του προβλήματος και να αξιοποιήσει άριστα τη δότρια ζώνη ώστε να προσφέρει το καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα.

Ταυτόχρονα, καταβλήθηκε προσπάθεια το σύστημα να επιτρέπει στον ιατρό να αξιολογεί την αποτελεσματικότητα της θεραπείας μέσα από ακριβή και αξιόπιστα follow ups. Η αξιοποίηση του συστήματος αυτού συνέβαλε σημαντικά στην κατεύθυνση της εξέλιξης και βελτίωσης της τεχνικής FUE.

Επιγραμματικά, το σύστημα, στο οποίο αναφερόμαστε, αποτελείται από 4 βασικές δομές:

Μια εξελιγμένη βάση δεδομένων, που επιτρέπει την καταγραφή και αποθήκευση όλων των δεδομένων που μπορούν να φανούν χρήσιμα στην αξιολόγηση, διάγνωση, αντιμετώπιση και παρακολούθηση ενός ασθενούς με πρόβλημα τριχόπτωσης, που υποβάλλεται σε μεταμόσχευση με FUE.

Την ανάπτυξη και ενσωμάτωση ειδικής μαθηματικής μεθοδολογίας και αλγορίθμων, ώστε να εκφραστούν όροι και έννοιες χρήσιμες στη μεταμόσχευση τριχοθυλακίων κυρίως με την τεχνική FUE, και να διευκολυνθεί η ποσοτικοποίησή τους.

Ένα κατάλληλα σχεδιασμένο σύστημα επεξεργασίας εικόνας του τριχωτού της κεφαλής, που ανιχνεύει τα τριχοθυλάκια και τις τρίχες και επιτρέπει να μετρηθούν σημαντικοί παράμετροι του τριχωτού, όπως πυκνότητα τριχών και τριχοθυλακίων, οι αποστάσεις τριχοθυλακίων μεταξύ τους, το εμβαδόν δότριας και λήπτριας περιοχής, καθώς και μια σειρά από άλλα μεγέθη απαραίτητα για να αξιολογηθεί με ακρίβεια το πρόβλημα του ασθενούς και η αποτελεσματικότητα της θεραπείας.

Στατιστική επεξεργασία των στοιχείων της βάσης δεδομένων, ώστε ο ιατρός να διευκολύνεται στην επιλογή ορθότερων αποφάσεων και θεραπευτικών χειρισμών τόσο στην κλινική του πράξη όσο και στην έρευνα.

Αξίζει να τονίσουμε πως φιλοδοξία μας κατά τη διεξαγωγή αυτής της ερευνητικής προσπάθειας ήταν το σύστημα αυτό να καταστεί ένα αποτελεσματικό εργαλείο για τη βελτιστοποίηση της τεχνικής FUE και γενικότερα της μεταμόσχευσης ανθρώπινων τριχοθυλακίων. Εκτιμούμε πως η αρχές της Ιατρικής Φυσικής και η χρήση της σύγχρονης τεχνολογίας στη διάγνωση και θεραπεία της τριχόπτωσης βρήκαν εφαρμογή στο υπολογιστικό αυτό σύστημα, που σήμερα είναι πλέον διαθέσιμο στην αγορά με την ονομασία FOLLYSIS<sup>®</sup>.

Στη συνέχεια της παρούσας διατριβής ο όρος FOLLYSIS<sup>®</sup> θα αναφέρεται στο ολοκληρωμένο αυτό προϊόν, που χρησιμοποιείται πλέον σε αρκετές κλινικές ανά τον κόσμο και η αποδοχή και αναγνώριση της χρησιμότητάς του επεκτείνεται διαρκώς. Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην διεύθυνση της εταιρείας HTI -Hair Transplant Informatics Limited, που μου επέτρεψε να κάνω χρήση του όρου FOLLYSIS<sup>®</sup>, του οποίου διαθέτει τα αποκλειστικά και πλήρη δικαιώματα ενώ φέρει και την αποκλειστική ευθύνη για εμπορική προώθηση και εκμετάλλευση του συγκεκριμένου προϊόντος. (FOLLYSIS<sup>®</sup> 2014, HTI - Hair Transplant Informatics Limited, All Rights Reserved).

Στα επόμενα κεφάλαια θα γίνει περιγραφή της δομής και λειτουργίας του, θα δοθούν κλινικά παραδείγματα της εφαρμογής και χρησιμότητάς του στη διάγνωση



και θεραπεία της τριχόπτωσης και θα αποδειχθεί με τρόπο πειστικό πώς το FOLLYSIS<sup>®</sup> μπορεί να βελτιστοποιήσει την τεχνική FUE προς όφελος του ιατρού και του ασθενούς.

Η διατριβή αυτή χωρίζεται συνοπτικά στις εξής ενότητες:

- *Εισαγωγή στις έννοιες της τριχόπτωσης και της μεταμόσχευσης μαλλιών με την τεχνική FUE.*
- *Εφαρμογή των αρχών της Μηχανικής στο FUE και ανάπτυξη ειδικής μαθηματικής μεθοδολογίας για την τεχνική αυτή.*
- *Αναλυτική περιγραφή του σχεδιασμού και της λειτουργίας του FOLLYSIS<sup>®</sup>. Λεπτομερής παρουσίαση των βασικών του δομών, με ιδιαίτερη έμφαση στο σύστημα επεξεργασίας εικόνας που διαθέτει.*
- *Παραδείγματα εφαρμογής του FOLLYSIS<sup>®</sup> στην κλινική πράξη.*
- *Βελτιστοποίηση της τεχνικής FUE.*

\*

\* \*

Ολοκληρώνοντας την παρούσα εισαγωγή, θα ήταν μεγάλη παράλειψη να μην ευχαριστήσω τον Δρα Παντελή Θεοχαράκη, για την καθοριστική συμβολή του στην ανάπτυξη του συστήματος επεξεργασίας εικόνας του FOLLYSIS<sup>®</sup>, όπως και τον Φυσικό Ιατρικής Ιωάννη Θεοχαράκη, για τη συμβολή του στη διαμόρφωση και υλοποίηση της εξελιγμένης βάσης δεδομένων που διαθέτει. Η συμβολή τους ήταν καθοριστική στην εξέλιξη και ολοκλήρωση της λειτουργίας του συστήματος σε επαγγελματικό επίπεδο.

Πολλές ευχαριστίες οφείλω και στον υπεύθυνο Καθηγητή Γεώργιο Νικηφορίδη, για την εμπνευσμένη καθοδήγησή του και τη διαρκή επιστημονική και ψυχική ενθάρρυνση και υποστήριξη του όλου εγχειρήματος.



# ΜΕΡΟΣ Α΄

## Γενικά

---



# 1

## ΤΡΙΧΟΠΤΩΣΗ

Η ανδρογενετική αλωπεκία, ή άλλως αλωπεκία, είναι μία εξαιρετικά συνηθισμένη διαταραχή, που επηρεάζει τόσο τους άνδρες όσο και τις γυναίκες. Η συχνότητα εμφάνισης της ανδρογενετικής αλωπεκίας θεωρείται γενικά ότι είναι μεγαλύτερη στους άνδρες από ό,τι στις γυναίκες, μολονότι κάποια στοιχεία υποδηλώνουν ότι οι φαινομενικές διαφορές στη συχνότητα εμφάνισης ενδέχεται να αντανακλούν τη διαφορά έκφρασης στους άνδρες και τις γυναίκες.

### Παθοφυσιολογία

Η ανδρογενετική αλωπεκία είναι μία γενετικά καθορισμένη διαταραχή και είναι προοδευτική, μέσω της βαθμιαίας μετατροπής των τελικών τριχών σε ενδιάμεσες και εντέλει σε χνοώδεις τρίχες. Οι ασθενείς με ανδρογενετική αλωπεκία παρουσιάζουν ελάττωση του λόγου τελικές-προς-χνοώδεις τρίχες, περίπου στο 4:1. Η ακόλουθη σμίκρυνση των θυλάκων των τριχών σε ινώδεις ταινίες παραμένει μέχρι τέλους. Οι ασθενείς με αυτή τη διαταραχή συνήθως έχουν ένα τυπικό μοτίβο τριχόπτωσης.

Στην ανδρογενετική αλωπεκία, μελέτες έχουν υποδείξει αυτόματη ανανέωση του θύλακα της τρίχας μέσω κερατινοκυττάρων-βλαστοκυττάρων, που βρίσκονται στην κυρτωμένη περιοχή του θύλακα της τρίχας. Επιπροσθέτως, μία σειρά μελετών σε ποντίκια δείχνουν ότι ενδοθυλακικά κερατινοκύτταρα-βλαστοκύτταρα μπορούν να παράγουν de novo θύλακες τρίχας στο δέρμα ενηλίκων ποντικών. Αυτοί οι αναγεννημένοι θύλακες τρίχας κάνουν κύκλο μεταξύ τελογενούς και αναγεννητικής φάσης. Εντούτοις, αυτές οι μεταβάσεις μεταξύ κυρτωμένης περιοχής και επιδερμικών κερατινοκυττάρων δεν έχουν ακόμη απαντηθεί σε μελέτες σε ανθρώπους.<sup>1</sup>

Άλλη έκθεση αναφέρει ότι τα ποντίκια με έλλειψη λειτουργικών υποδοχέων βιταμίνης D ανέπτυξαν ένα λειτουργικό πρώτο τρίχωμα, αλλά τους έλλειπε η κυκλική αναγέννηση των θυλάκων της τρίχας, γεγονός που οδηγούσε στην ανάπτυξη αλωπεκίας.<sup>2</sup> Το κατά πόσον αυτά τα ευρήματα θα οδηγήσουν σε ένα νέο τομέα εξερεύνησης για τα αίτια της ανδρογενετικής αλωπεκίας στους ανθρώπους είναι ακόμη άγνωστο.

Μία λεμφοκυτταρική μικροθυλακίτιδα, με στόχο το επιθήλιο, μαζί με εναποθέσεις ανοσοαντιδραστικών βασικής ζώνης του επιθηλίου, απαντάται συχνά στην ανδρογενετική αλωπεκία και των δύο φύλων. Αυτές οι περιπτώσεις με θετικό ανοσοαντιδραστικό προφίλ αποκρίνονται καλύτερα σε συνδυασμένης τροπικότητας θεραπεία από εκείνες με αρνητικό αποτέλεσμα.<sup>3</sup>

Πολυάριθμες μελέτες έχουν προσδιορίσει δύο μείζονες γενετικούς τόπους κινδύνου για ανδρογενετική αλωπεκία. Αυτοί είναι ο τύπος AR/EDA2R στο χρωμόσωμα X και ο τύπος PAX1/FOXA2 στο χρωμόσωμα 20. Μία πρόσφατη συνδυαστική μελέτη ολόκληρου του γονιδιώματος συνέκρινε περισσότερες από 1.100 σοβαρές περιπτώσεις ανδρογενετικής αλωπεκίας με φυσιολογικούς μάρτυρες για να παρατηρηθούν οι διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων. Η μελέτη έδειξε ότι το HDAC9 είναι το τρίτο γονίδιο ευαισθησίας στην ανδρογενετική αλωπεκία. Τα αποτελέσματα αυτής της γερμανικής μελέτης αναλύθηκαν περαιτέρω με γονιδιακή χαρτογράφηση και έπειτα αναπαρήχθησαν μεμονωμένα σε δείγμα ατόμων από την Αυστραλία.<sup>4</sup>

## **Επιδημιολογία Συχνότητα / Διεθνώς**

Η ανδρογενετική αλωπεκία είναι μία εξαιρετικά συνηθισμένη διαταραχή, η οποία επηρεάζει περίπου το 50% των ανδρών και ίσως άλλες τόσες γυναίκες μετά τα 40 έτη. Περίπου 13% των προεμμηνόπαυσιακών γυναικών φέρεται να έχουν κάποιες ενδείξεις ανδρογενετικής αλωπεκίας. Εντούτοις, η συχνότητα της ανδρογενετικής αλωπεκίας αυξάνεται σημαντικά στις γυναίκες μετά την εμμηνόπαυση και, σύμφωνα με τον συγγραφέα, μπορεί να επηρεάσει το 75% των γυναικών σε ηλικία άνω των 65 ετών.

Μία κοινοτική μελέτη για την ανδρογενετική αλωπεκία σε 6 πόλεις της Κίνας έδειξε ότι ο επιπολασμός της ανδρογενετικής αλωπεκίας τόσο στους άνδρες όσο και στις γυναίκες στην Κίνα είναι χαμηλότερος από αυτόν που συναντάται στους λευκούς, αλλά πανομοιότυπος με αυτόν στους Κορεάτες.<sup>5</sup>

## **Θνησιμότητα / Θνητότητα**

Η ανδρογενετική αλωπεκία είναι βασικά μία αισθητική διαταραχή. Εκτός από το ότι επιδρά στην ψυχολογία του ασθενούς,<sup>6</sup> η ανδρογενετική αλωπεκία είναι σημαντική μόνο επειδή επιτρέπει στην υπεριώδη ακτινοβολία να φτάσει στο τριχωτό της κεφαλής και τοιούτοτρόπως αυξάνεται το μέγεθος της βλάβης από ακτινοβολία. Οι άνδρες με ανδρογενετική αλωπεκία ενδέχεται να έχουν αυξημένη συχνότητα εμφράγματος του μυοκαρδίου.<sup>7</sup>

Αύξηση στην καλοήγη υπερτροφία του προστάτη έχει επίσης συνδεθεί με ανδρογενετική αλωπεκία.<sup>8</sup> Ο Arias-Santiago και συνεργάτες μέτρησαν τον προστατικό όγκο με διουρηθρικό υπέρηχο και τη ροή των ούρων με ροομετρία ουροποιητικού, για να μελετήσουν αυτήν την υπόθεση. Τα ευρήματά τους υποδηλώνουν ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της πρώιμης ανδρογενετικής αλωπεκίας και της αύξησης του μεγέθους του προστάτη, που συνδέεται με συμπτώματα του ουροποιητικού, πιθανώς λόγω της παθοφυσιολογικής τους ομοιότητας. Προτείνουν ότι μελλοντικές μελέτες θα αποσαφηνίσουν το κατά πόσον η θεραπεία ασθενών με ανδρογενετική αλωπεκία ενδέχεται να ωφελήσει τη συνακόλουθη καλοήγη υπερτροφία.<sup>9</sup>

Εάν αυτές οι διασυνδέσεις αποδειχθούν οριστικά, η ανδρογενετική αλωπεκία θα αποκτήσει μεγαλύτερη κλινική σημασία.

## Φυλή

Η συχνότητα εμφάνισης και η σοβαρότητα της ανδρογενετικής αλωπεκίας τείνουν να είναι μεγαλύτερα στους λευκούς άνδρες, με δεύτερους τους Ασιάτες και τους Αφροαμερικανούς και μικρότερες στους ιθαγενείς Αμερικανούς και τους Εσκιμώους.

## Ηλικία

Σχεδόν όλοι οι ασθενείς με ανδρογενετική αλωπεκία έχουν έναρξη πριν την ηλικία των 40 ετών, μολονότι πολλοί από τους ασθενείς (τόσο άνδρες, όσο και γυναίκες) παρουσιάζουν ενδείξεις της διαταραχής περίπου στην ηλικία των 30 ετών.

## Ιστορικό

Η έναρξη της ανδρογενετικής αλωπεκίας είναι βαθμιαία. Οι άνδρες παρουσιάζουν σταδιακή αραίωση στις κροταφικές περιοχές, με την παραγωγή ενός αναδιαμορφωμένου πρόσθιου τμήματος της γραμμής μαλλιών. Επί το πλείστον, η εξέλιξη της φαλάκρας προχωρεί σύμφωνα με την ταξινόμηση Norwood/Hamilton της μετωπιαίας και κορυφαίας αραίωσης. Οι γυναίκες με ανδρογενετική αλωπεκία συνήθως παρουσιάζουν διάχυτη αραίωση στην κορυφή. Υποχώρηση στους κροτάφους συμβαίνει και στις γυναίκες, αλλά συνήθως σε μικρότερο βαθμό από ό,τι στους άνδρες. Γενικά, οι γυναίκες διατηρούν μία μετωπιαία γραμμή μαλλιών.<sup>10</sup>

## Σωματικά

Τόσο στους άνδρες όσο και στις γυναίκες με ανδρογενετική αλωπεκία, η μετάβαση από τα μακριά, πυκνά, χρωματιστά μαλλιά στα πιο κοντά, πιο αραιά, ενδιάμεσης πυκνότητας μαλλιά και τελικά στα κοντά, λεπτά, άχρωμα χνοώδη μαλλιά, στις περιοχές που εμπλέκονται, γίνεται βαθμιαία. Καθώς η ανδρογενετική αλωπεκία εξελίσσεται, η αναγεννητική φάση γίνεται πιο σύντομη με την τελογενή φάση να παραμένει σταθερή. Ως αποτέλεσμα, περισσότερα μαλλιά βρίσκονται στην τελογενή φάση και στον ασθενή παρατηρείται ενδεχομένως μία αύξηση στην τριχόπτωση. Το τελικό αποτέλεσμα μπορεί να είναι μία περιοχή πλήρως απογυμνωμένη. Αυτή η περιοχή ποικίλλει από ασθενή σε ασθενή και συνήθως είναι πιο έντονη στην κορυφή.

Οι γυναίκες με ανδρογενετική αλωπεκία, χάνουν γενικά μαλλιά σε όλη την περιοχή της κορυφής. Αυτό προκαλεί μία βαθμιαία αραίωση των τριχών παρά μία περιοχή με αξιοσημείωτη φαλακρότητα. Το τμήμα αυτό είναι πιο ευρύ προσθίως. Η μετωπιαία γραμμή μαλλιών συχνά διατηρείται στις γυναίκες με αυτή τη διαταραχή, ενώ στους άνδρες παρατηρείται βαθμιαία υποχώρηση της μετωπιαίας γραμμής μαλλιών πρώιμα στη διαδικασία.

## Αιτίες

Η ανδρογενετική αλωπεκία είναι μία γενετικά καθορισμένη κατάσταση. Το 2008, 95 οικογένειες μελετήθηκαν γενετικά και ο τύπος με την πιο ισχυρή ένδειξη σύνδεσης με την ανδρογενετική αλωπεκία ήταν ο 3q26 στο Χ χρωμόσωμα.<sup>11</sup> Επιπροσθέτως, αναφέρθηκε μία διασύνδεση μεταξύ της ανδρογενετικής αλωπεκίας και του χρωμοσώματος 20p11 και του γονιδίου του υποδοχέα ανδρογόνων.<sup>12</sup>

Τα ανδρογόνα είναι απαραίτητα για την εξέλιξη της ανδρογενετικής αλωπεκίας, καθώς δεν έχουν βρεθεί σε άρρενες ευνουχισμένους πριν την εφηβεία. Υπάρχει ανάσχεση στην εξέλιξη της ανδρογενετικής αλωπεκίας εάν οι άρρενες ευνουχιστούν μετεφηβικά. Η ανδρογενετική αλωπεκία έχει υποστηριχθεί ότι είναι μία κυρίαρχη κληρονομούμενη διαταραχή με κυμαινόμενη διεισδυτικότητα και έκφραση. Εντούτοις, ενδέχεται να είναι πολυγονιδιακής κληρονομικότητας. Έχει σημειωθεί ότι θύλακες από φαλακρές περιοχές σε άτομα με ανδρογενετική αλωπεκία είναι ικανοί να παράγουν τελικές τρίχες όταν εμφυτευτούν σε ποντίκια με ανοσοανεπάρκεια.<sup>13</sup> Αυτό δηλώνει ότι συστηματικοί ή εξωτερικοί παράγοντες ενδέχεται να παίζουν κάποιο ρόλο στην ανδρογενετική αλωπεκία. Είναι ενδιαφέρον ότι έχει αναφερθεί ανδρογενετική αλωπεκία σε γυναίκα ασθενή με σύνδρομο μη ευαισθησίας (αντίστασης) στα ανδρογόνα. Αυτό δηλώνει ότι παράγοντες άλλοι από την άμεση δράση των ανδρογόνων συμβάλλουν στην αλωπεκία.<sup>14</sup>

Όπως αναφέρθηκε το 2005, σε δέρμα ενήλικου ποντικού παρατηρήθηκε ότι η οικογένεια των Hh (hedgehog) ενδοκυττάρων σηματοδοτικών πρωτεϊνών μπορούν να διεγείρουν τη μετάβαση του κύκλου της τρίχας από τη φάση ανάπαυσης (τελογενή) στη φάση ανάπτυξης (αναγεννητική).<sup>15</sup> Το κατά πόσον αυτό θα είναι επιβοηθητικό στη θεραπεία της ανδρογενετικής αλωπεκίας παραμένει να το δούμε.

Αναφορικά με το ερώτημα κατά πόσον η έλλειψη σιδήρου παίζει ρόλο στην αλωπεκία των γυναικών, μία μελέτη των Olsen και συνεργατών έδειξε ότι η ανεπάρκεια σιδήρου είναι κοινή στις γυναίκες αλλά δεν είναι σημαντικά αυξημένη σε ασθενείς με γυναικείο μοτίβο τριχόπτωσης ή χρόνια τελογενή εκροή σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου.<sup>16</sup>

Οι Lattouf και συνεργάτες έχουν περιγράψει μία περίπτωση συζυγικής ανδρογενετικής αλωπεκίας, σε 52χρονη γυναίκα, δευτερογενώς, μετά από επαφή με το δέρμα του συζύγου της, ο οποίος είχε υποβληθεί σε θεραπεία τοπικά με τεστοστερόνη για υπογοναδισμό. Η ασθενής ανέπτυξε έντονη ανδρογενετική αλωπεκία με συμμετοχή του στέμματος και των μετωποκροταφικών περιοχών. Ο σύζυγός της εφάρμοζε διαδερμική γέλη τεστοστερόνης στα άνω άκρα του, άπαξ ημερησίως. Η ασθενής αξιολογήθηκε για την εμφάνιση υπερανδρογοναιμίας και δεν προσδιορίστηκαν άλλα συμπτώματα της διαταραχής. Της συνεστήθη να ζητήσει από τον σύζυγό της να εφαρμόζει τη γέλη τεστοστερόνης σε λιγότερο εκτεθειμένα σημεία του σώματός του. Οι συγγραφείς συνεχίζουν επισημαίνοντας ότι είναι πιθανό περιπτώσεις συζυγικής ανδρογενετικής αλωπεκίας να μην δημοσιοποιούνται.<sup>17,18,19,20,21</sup>



## Ιατρική αντιμετώπιση

Επί του παρόντος, μόνο 2 φάρμακα διαθέτουν εγκεκριμένες ενδείξεις από τον Αμερικανικό Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) για τη θεραπεία της ανδρογενετικής αλωπεκίας: τα Minoxidil και Finasteride.

**Minoxidil.** Μολονότι η μέθοδος δράσης είναι κατ' ουσίαν άγνωστη, το Minoxidil φαίνεται να επιμηκύνει τη διάρκεια της αναγεννητικής φάσης και ενδεχομένως αυξάνει την παροχή αίματος στο θύλακα.<sup>22</sup> Η επανεμφάνιση είναι περισσότερο έκδηλη στην κορυφή παρά στις μετωπιαίες περιοχές και δεν σημειώνεται για τουλάχιστον 4 μήνες. Η συνέχιση της τοπικής θεραπείας με το φάρμακο είναι απαραίτητη επ' αόριστον, καθώς η διακοπή της θεραπείας προκαλεί γρήγορη επιστροφή στο προ της θεραπείας μοτίβο φαλάκρας.

Οι ασθενείς που ανταποκρίνονται καλύτερα σε αυτό το φάρμακο είναι εκείνοι οι οποίοι έχουν πρώιμη έναρξη της ανδρογενετικής αλωπεκίας και μικρές περιοχές τριχόπτωσης. Το φάρμακο διατίθεται στο εμπόριο ως διάλυμα 2% ή 5%, με το διάλυμα του 5% να είναι κάπως πιο αποτελεσματικό. Μία μελέτη 48 εβδομάδων συνέκρινε τις δύο συγκεντρώσεις σε άρρενες.<sup>23</sup> Τα ευρήματα έδειξαν 45% συχνότερη επανεμφάνιση με το διάλυμα 5% σε σύγκριση με αυτό του 2%. Γενικά, οι γυναίκες αποκρίνονται καλύτερα από τους άνδρες στην τοπική εφαρμογή Minoxidil. Η αύξηση της αποτελεσματικότητας του διαλύματος 5% δεν ήταν εμφανής στις γυναίκες, στις ελεγχόμενες από το FDA μελέτες. Επακόλουθες μελέτες έδειξαν, στην καλύτερη περίπτωση, ένα μέτριο πλεονέκτημα του διαλύματος υψηλότερης συγκέντρωσης στις γυναίκες. Επιπροσθέτως, συμβαίνει να εμφανίζεται αυξημένη ανάπτυξη τριχοφυΐας στο πρόσωπο με τη χρήση του φαρμάκου με μεγαλύτερη συγκέντρωση.

Κεντρική αμφιβληστροειδοπάθεια έχει συσχετισθεί με τη χρήση Minoxidil 2% για την ανδρογενετική αλωπεκία. Ένας 37χρονος άνδρας ανέπτυξε αυτήν την παρενέργεια, που συνίστατο σε θετικό περιφερικό σκότωμα, μεταμορφοψία και διαταραχή προσαρμογής στο σκότος στο δεξιό οφθαλμό, μετά από 8 μήνες χρήσης Minoxidil για ανδρογενετική αλωπεκία. Εντούτοις, ένα μήνα μετά την παύση του φαρμάκου, τα ευρήματα της επανεξέτασης ήταν φυσιολογικά.<sup>24</sup>

**Finasteride.** Η Finasteride λαμβάνεται από το στόμα και είναι ένας αναστολέας της 5-α αναγωγής (ρεδουκτάσης) τύπου 2.<sup>25</sup> Δεν είναι αντιανδρογόνο. Το φάρμακο μπορεί να χορηγηθεί μόνο σε άνδρες, καθώς ενδέχεται να δημιουργήσει ασαφή γεννητικά όργανα σε αναπτυσσόμενο άρρεν έμβρυο. Έχει δειχθεί ότι η Finasteride ελαττώνει την εξέλιξη της ανδρογενετικής αλωπεκίας στους άνδρες, που λαμβάνουν τη θεραπεία, και σε πολλούς ασθενείς έχει διεγείρει νέα επανεμφάνιση.

Μολονότι επιδρά περισσότερο στη φαλάκρα κορυφής παρά στη μετωπιαία τριχόπτωση, το φάρμακο έχει δειχθεί ότι αυξάνει την επανεμφάνιση και στις μετωπιαίες περιοχές. Η Finasteride πρέπει να λαμβάνεται επ' αόριστον, καθώς η διακοπή έχει ως αποτέλεσμα τη βαθμιαία εξέλιξη της διαταραχής. Μία μελέτη σε μετεμμηνοπαυσιακές γυναίκες έδειξε ότι δεν υπάρχει ευεργετική επίδραση της αγωγής στη θεραπεία της γυναικείας ανδρογενετικής αλωπεκίας.

Μία 10ετής μελέτη παρακολούθησης ανδρών, που χρησιμοποιούσαν 1mg Finasteride ημερησίως για την ανδρογενετική αλωπεκία, ανέφερε ότι παρατηρήθηκε μεγαλύτερη βελτίωση σε ασθενείς μεγαλύτερους από 30 ετών ή σε άνδρες με μεγαλύτερο βαθμό ανδρογενετικής αλωπεκίας. Περιέργως, η αποτελεσματικότητα της αγωγής δεν ελαττώθηκε με την πάροδο του χρόνου και σε ορισμένες περιπτώσεις αυξήθηκε αργότερα.<sup>26</sup>

Ιαπωνική μελέτη, σε 3.177 άνδρες, διαπίστωσε την αποτελεσματικότητα και την ασφάλεια της Finasteride στη θεραπεία της ανδρογενετικής αλωπεκίας. Αξιολογήθηκαν φωτογραφίες 2.561 ανδρών, οι οποίοι ολοκλήρωσαν την 42 μηνών μελέτη. Από αυτούς, το 11,1% έδειξε μεγάλη επανεμφάνιση, το 36,5% μέτρια και το 39,5% είχε ελαφρά αύξηση τριχοφυΐας. Παρενέργειες παρουσιάστηκαν στο 0,7% των ανδρών. Δεν παρατηρήθηκαν προβλήματα ασφάλειας στη μακροχρόνια χρήση. Οι συγγραφείς συμπεραίνουν ότι σε Ιάπωνες άρρενες με ανδρογενετική αλωπεκία η μακροχρόνια λήψη Finasteride από το στόμα διατηρεί προοδευτική επανεμφάνιση των μαλλιών, χωρίς αναγνωρισμένες παρενέργειες.<sup>27</sup>

**Άλλα φάρμακα.** Κάποια φάρμακα δεν είναι εγκεκριμένα από τον FDA, αλλά αποτελούν δυνητικά βοηθητικές θεραπείες.<sup>28</sup> Στις γυναίκες με ανδρογενετική αλωπεκία, ειδικά σε εκείνες με μία συνιστώσα υπερανδρογοναιμίας, τα φάρμακα που δρουν ως κατασταλτικά ή ως ανταγωνιστές των ανδρογόνων (π.χ. η σπιρονολακτόνη, αντισυλληπτικά από το στόμα κλπ.) ενδέχεται να είναι ευεργετικά. Υπάρχουν αποδείξεις για το συσχετισμό μεταξύ ανδρογενετικής αλωπεκίας, υπέρτασης και υπεραλδοστερονισμού. Η σπιρονολακτόνη μπορεί να έχει ένα διπλό ρόλο στη θεραπεία.

Το Dutasteride είναι άλλη μία πιθανή θεραπεία για την ανδρογενετική αλωπεκία. Αυτό το φάρμακο αναστέλλει τα τύπου I και II ισοένζυμα της 5-α αναγωγής και πιστεύεται ότι είναι 3 φορές πιο δραστικό από το Finasteride στην αναστολή του τύπου II ενζύμου και 100 φορές πιο δραστική στην αναστολή του τύπου I ενζύμου. Μία μελέτη β' φάσης για τη χρήση του Dutasteride στη θεραπεία της αλωπεκίας διενεργήθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες, αλλά δεν διεξάγονται περαιτέρω δοκιμές στις Η.Π.Α. Εντούτοις, διεξάγεται εκτός Ηνωμένων Πολιτειών μία δοκιμή.

Η θεραπεία με χαμηλού επιπέδου ακτινοβολία laser (πιο συγκεκριμένα, μία συσκευή κόκκινης ακτινοβολίας σαν βούρτσα μαλλιών) έχει διατεθεί στο εμπόριο ως μία μη συνταγογραφούμενη τεχνική για την ανάπτυξη τριχοφυΐας. Σε μία διπλή-τυφλή, ελεγχόμενη με ψευδο-συσκευή, πολυκεντρική, 26 εβδομάδων μελέτη, 110 ασθενείς στην ομάδα της ενεργούς θεραπείας, οι οποίοι ολοκλήρωσαν τη μελέτη, παρουσίασαν σημαντικά μεγαλύτερη βελτίωση στη συνολική επανεμφάνιση μαλλιών από ό,τι η ομάδα της ψευδο-συσκευής.<sup>29</sup> Η θεραπεία διατίθεται στο εμπόριο ως HairMax LaserComb και διαθέτει 510K έγκριση του FDA για χρήση ως ιατρική συσκευή. Σημειώστε ότι αυτή η έγκριση αναφέρεται περισσότερο στην ασφάλεια παρά στην πραγματική αποτελεσματικότητα κι ότι τα δεδομένα που απαιτούνται για τις ιατρικές συσκευές είναι πολύ διαφορετικά από αυτά που απαιτούνται για να αποδειχθεί η ασφάλεια και δραστικότητα των φαρμάκων.

Τοπική χρήση Latanoprost 0,1%, ένα ανάλογο της προσταγλανδίνης, που χρησιμοποιείται για τη θεραπεία του γλαυκώματος, έχει σημειωθεί ότι προκαλεί

αύξηση στον αριθμό, το μήκος και το πάχος των βλεφαρίδων. Οι Blume-Peytavi και συνεργάτες τους διεξήγαγαν μία τοπική θεραπεία 24 εβδομάδων, με αυτόν τον παράγοντα, για να παρατηρήσουν την επίδραση στην ανδρογενετική αλωπεκία. Μελετήθηκαν 16 νέοι άνδρες με μέτρια ανδρογενετική αλωπεκία. Εφαρμόστηκε Latanoprost 0,1% και placebo καθημερινά σε δύο μικροζώνες του δέρματος της κεφαλής. Κατά τη διάρκεια της μελέτης, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της ανάπτυξης τριχών, της πυκνότητας, της διαμέτρου, του χρώματος, καθώς και του λόγου αναγεννητική/τελογενής φάση. Σε 24 εβδομάδες σημειώθηκε αύξηση στην πυκνότητα της τρίχας στην περιοχή που εφαρμόστηκε Latanoprost σε σύγκριση με την αρχική κατάσταση και την περιοχή του ψευδο-φαρμάκου. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι αυτή η αγωγή θα μπορούσε να είναι χρήσιμη για τη διέγερση της δραστηριότητας του θύλακα της τρίχας και για τη θεραπεία της τριχόπτωσης.<sup>30</sup>

Η ανδρογενετική αλωπεκία είναι πολύ κοινή. Ως εκ τούτου, όχι αναπάντεχα, μπορεί να συνυπάρχει με πολλές μορφές τριχόπτωσης. Περιπτώσεις τελογενούς αραίωσης συμβαίνουν συχνά σε ασθενείς με υποκείμενη ανδρογενετική αλωπεκία. Ως εκ τούτου, υποδεικνύεται η αναζήτηση για θεραπεύσιμες αιτίες τελογενούς αραίωσης (π.χ. αναιμία, υποθυρεοειδισμός), ειδικά σε ασθενείς με απότομη έναρξη ή γρήγορη εξέλιξη της νόσου.

Ο Dawson και συνεργάτες, στη συζήτηση για τη γυναικεία ανδρογενετική αλωπεκία, καταγράφει τις ακόλουθες δυνατότητες θεραπείας για την ανακοπή της εξέλιξης και τη διέγερση μερικής επανεμφάνισης μαλλιών σε αυτή τη διαταραχή: τους ανταγωνιστές του υποδοχέα ανδρογόνων Spironolactone και Syproterone Acetate, τον αναστολέα της 5α-αναγωγής Finasteride και τον αυξητικό παράγοντα των τριχών, ανεξάρτητο των ανδρογόνων, Minoxidil. Αυτές οι θεραπείες είναι περισσότερο αποτελεσματικές όταν εισάγονται νωρίς.<sup>31</sup>

Μία φάσης α' διπλή-τυφλή κλινική δοκιμή σχεδιάστηκε για να αξιολογηθεί η ασφάλεια μίας βιολογικά σχεδιασμένης, μη-ανασυνδυασμένης, προερχόμενης από ανθρώπινα κύτταρα σύνθεσης, που θα περιείχε follistatin, αυξητικό παράγοντα κερατινοκυττάρων (KGF) και αυξητικό παράγοντα αγγειακού ενδοθηλίου (VEGF) και διενεργήθηκε για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας στη διέγερση της ανάπτυξης τριχών. 26 άτομα συμμετείχαν στη μελέτη και κανένα δεν έδειξε κάποια παρενέργεια στην απλή διαδερμική έγχυση. Ένα έτος αργότερα συνέχιζε να παρατηρείται στατιστικά σημαντική αύξηση στο συνολικό αριθμό τριχών.<sup>32</sup>

## **Υπόβαθρο χειρουργικής θεραπείας**

Από το 1960 ως τα μέσα της δεκαετίας του '90, τα μεταμοσχευμένα μαλλιά φαίνονταν αφύσικα, γιατί οι χειρουργοί χρησιμοποιούσαν αφύσικα μεγάλα σε εμφάνιση μοσχεύματα μαλλιών, το καθένα από τα οποία αποτελούνταν από 10-25 τρίχες. Αυτή η εποχή έχει παρέλθει. Η τρίχα, φυσικά, αναπτύσσεται σε ομάδες των 1-4 θυλάκων. Στις αρχές της δεκαετίας του '90, οι χειρουργοί ξεκίνησαν να αλλάζουν κατεύθυνση, από τη χρήση αφύσικα μεγάλων σε εμφάνιση κομματιών (10-25 τρίχες) στη συνεπή χρήση ομάδων θυλάκων τριχών (1-4 τρίχες) με φυσιολογική

εμφάνιση. Στην τρέχουσα πρακτική, όλες οι γυναίκες και οι άνδρες μπορούν να περιμένουν μεταμοσχευμένα μαλλιά με φυσιολογική εμφάνιση.<sup>33,34,35,36,38</sup>

Η μεταμόσχευση μονάδων θυλάκων είναι η ανακατανομή ομάδων τριχοθυλακίων φυσικώς εμφανιζόμενων από το οπίσθιο δέρμα της κεφαλής (περιοχή-δότης) στην περιοχή με αραιωμένα μαλλιά στο μέσο και πρόσθιο δέρμα της κεφαλής (λαμβάνουσες περιοχές).<sup>39</sup>

Η μεταμόσχευση μονάδων τριχοθυλακίων είναι η πρότυπη χειρουργική τεχνική για την αντιμετώπιση της ανδρικής και γυναικείας αλωπεκίας. Η μεταμόσχευση μονάδων τριχοθυλακίων χρησιμοποιείται επίσης για τη διόρθωση μοσχευμάτων με μη φυσιολογική εμφάνιση, την επιδιόρθωση των φρυδιών και την ανακατανομή τριχών σε άτομα με ανενεργό ουλωτική αλωπεκία.

## Πρόβλημα

Τα μαλλιά πλαισιώνουν το πρόσωπο. Το μήκος, το στυλ και το χρώμα των μαλλιών συχνά αντανakλούν το πώς οι άνθρωποι βλέπουν τον εαυτό τους. Η αργή, ακούσια τριχόπτωση, σε μήκος χρόνων, επηρεάζει το πώς ο κόσμος αντιλαμβάνεται ένα άτομο και, το πιο σημαντικό, το πώς τα ίδια τα άτομα βλέπουν τον εαυτό τους. Η ακούσια τριχόπτωση ενδέχεται να έχει συναισθηματική επίπτωση σε ένα άτομο, που κυμαίνεται από ελάχιστη έως βαθιά. Με τη θεραπευτική αγωγή, τη μεταμόσχευση μαλλιών, ή και με τα δύο, μπορεί να διατηρηθεί ή αποκατασταθεί ένα φυσιολογικό πλαίσιο μαλλιών σε ασθενείς με ανδρικού ή γυναικείου τύπου τριχόπτωση.

Η ανδρική και η γυναικεία τριχόπτωση είναι πολυγενετικές διαταραχές άγνωστης αιτιολογίας. Παραμένει άγνωστο ακριβώς ποια γονίδια συμμετέχουν. Η ηλικία έναρξης και ο ρυθμός τριχόπτωσης ποικίλλουν από ασθενή σε ασθενή. Κάποιοι ασθενείς χάνουν όλα τα μαλλιά τους από τα 20, ενώ τα μαλλιά άλλων αραιώνουν βαθμιαία επί δεκαετίες. Το οικογενειακό ιστορικό τριχόπτωσης δεν καθορίζει απαραίτητα το πρότυπο τριχόπτωσης σε κάθε άτομο.

## Επιδημιολογία / Συχνότητα

Το ανδρικό πρότυπο τριχόπτωσης προσβάλλει το 50% των ανδρών, ενώ το γυναικείο πρότυπο τριχόπτωσης προσβάλλει κατά προσέγγιση το 30-40% των γυναικών. Ο ρυθμός τριχόπτωσης και η έκταση της απώλειας ποικίλλει από ασθενή σε ασθενή.<sup>40</sup>

## Αιτιολογία

Η αιτιολογία της τριχόπτωσης ανδρικού και γυναικείου τύπου παραμένει άγνωστη. Κάποιοι την θεωρούν μία πολυγενετική διαταραχή, και από τους δύο γονείς. Δεν έχει συνδεθεί με καμία συγκεκριμένη διαίτα, στυλ μαλλιών ή λοίμωξη.

## Ενδείξεις

Όπως με όλες τις χειρουργικές διαδικασίες, η επιλογή κατάλληλου υποψηφίου είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχία της διαδικασίας. Άτομα με οποιοδήποτε χρώμα μαλλιών και δέρματος είναι υποψήφια. Στους παράγοντες-κλειδιά, που πρέπει να

εξεταστούν για την επιλογή υποψηφίων, περιλαμβάνονται η πυκνότητα (τριχών) του δότη στο οπίσθιο δέρμα της κεφαλής, το διαμέτρημα της τρίχας, η έκταση και ο ρυθμός τριχόπτωσης και οι ρεαλιστικές προσδοκίες.

### **Πυκνότητα δότη**

Οι περισσότεροι ασθενείς διαθέτουν 60-85 ομάδες τριχοθυλακίων ανά  $\text{cm}^2$ . Ασθενείς με μεγαλύτερη πυκνότητα μπορούν να λάβουν περισσότερα μοσχεύματα από εκείνους με πυκνότητα κάτω του μέσου όρου, με τη χρήση ισομεγέθους έλλειψης από τον δότη. Ο αριθμός των μοσχευμάτων, που είναι απαραίτητα κατά τη διάρκεια ενός χειρουργείου, είναι απόρροια του μεγέθους της λαμβάνουσας ζώνης.

Το δέρμα της κεφαλής των λευκών ατόμων διαθέτει περίπου 100 μονάδες ανά  $\text{cm}^2$ . Οι μονάδες αυτές έχουν κατά μέσο όρο 2,3 τρίχες έκαστη. Ως εκ τούτου, στους λευκούς, το δέρμα της κεφαλής κατά μέσο όρο διαθέτει περίπου 230 τελικές τρίχες ανά  $\text{cm}^2$ . Οι μαύροι και οι Ασιάτες έχουν σημαντικά μικρότερη πυκνότητα τόσο μονάδων όσο και τριχών, σε σύγκριση με τους λευκούς.

### **Πάχος τρίχας**

Το διαμέτρημα των τριχών του ασθενούς παίζει ζωτικό ρόλο στην αντιληπτή πυκνότητα, που μπορεί να δημιουργήσει ένα μόσχευμα. Ένας άνδρας ή μία γυναίκα με καλής ποιότητας και λεπτά μαλλιά θα δώσει καλής ποιότητας και λεπτά μεταμοσχευμένα μαλλιά, ενώ ένας άνδρας ή μία γυναίκα με άγρια, σγουρά μαλλιά θα δώσει μεταμοσχευμένα μαλλιά που θα φαίνονται άγρια και σγουρά.

### **Έκταση και ρυθμός τριχόπτωσης**

Σε μία περίοδο στην οποία η ανδρική και γυναικεία τριχόπτωση μπορεί να σταματήσει με Minoxidil ή/και Finasteride (για τους άνδρες), η μεταμόσχευση θα πρέπει να διενεργείται μόνο σε ασθενείς οι οποίοι έχουν επαρκή χώρο ανάμεσα στους αραιωμένους υφιστάμενους θύλακες για να δημιουργηθεί η περιοχή λήψης και να τοποθετηθεί το μόσχευμα.

Η καθαρή, φαινόμενη με το μάτι πυκνότητα μιας μεταμόσχευσης μαλλιών ισούται με τον αριθμό των τριχοθυλακίων που μεταμοσχεύτηκαν μείον τη συνεχιζόμενη τριχόπτωση. Όλοι οι ασθενείς θα πρέπει να κατανοήσουν ότι η συνεχιζόμενη τριχόπτωση θα επηρεάσει την αντιληπτή πυκνότητα του μοσχεύματος – ενώ, συχνά με επιτυχία, οι φαρμακευτικές αγωγές για την τριχόπτωση είναι αιρετές. Το σχέδιο και η κατανομή μιας μεταμόσχευσης πρέπει να λαμβάνει υπ' όψιν τη συνεχιζόμενη τριχόπτωση και το πώς θα επηρεάσει την πυκνότητα και την αισθητική εμφάνιση του εμφυτεύματος. Μία εκτίμηση του πόσες συνεδρίες θα χρειαστούν για να επιτευχθεί ένα βραχυπρόθεσμο και μακροπρόθεσμο αποτέλεσμα με φυσική εμφάνιση, θα πρέπει να συζητηθεί κατά τη διάρκεια της πρώτης συμβουλευτικής με τον ασθενή.

## **Ρεαλιστικές προσδοκίες**

Η πλέον κοινή επιπλοκή μιας μεταμόσχευσης είναι οι προσδοκίες που αποτυγχάνουν. Ο ιατρός πρέπει να δημιουργεί ρεαλιστικές προσδοκίες κατά τη συμβουλευτική. Παράγοντες όπως η πυκνότητα του δότη, το πάχος των τριχών και ο ρυθμός της τριχόπτωσης βοηθούν στον προσδιορισμό των ρεαλιστικών προσδοκιών.

## **Αντενδείξεις**

Η μεταμόσχευση μαλλιών δεν θα πρέπει να διενεργείται σε έναν ασθενή με μη ρεαλιστικές προσδοκίες. Επιπροσθέτως, ασθενείς που λαμβάνουν αντιπηκτική αγωγή δεν θα πρέπει να υποβάλλονται σε μεταμόσχευση μαλλιών. Τέλος, οποιοσδήποτε ασθενής με νόσο ενεργή, που ενδέχεται να επηρεάσει τη διαδικασία, θα πρέπει να λαμβάνει ιατρική άδεια.

# 2

## ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΜΟΣΧΕΥΣΗΣ ΤΡΙΧΟΘΥΛΑΚΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ FUE

Η μεταμόσχευση μαλλιών είναι μία χειρουργική τεχνική για την αποκατάσταση μιας φαλακρής περιοχής του τριχωτού της κεφαλής. Η πρώτη μεταμόσχευση τριχοθυλακίων για την αντιμετώπιση της ανδρογενετικής αλωπεκίας πραγματοποιήθηκε το 1952 στη Νέα Υόρκη, από τον Norman Orentreich.<sup>1</sup>

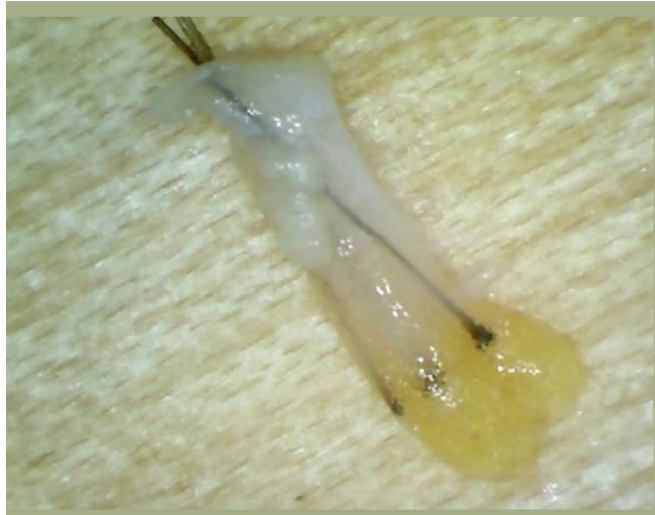
Ο Orentreich χρησιμοποίησε κυλινδρικό punch διαμέτρου 4 mm για να αφαιρέσει τις ομάδες τριχοθυλακίων από την ινιακή και τις πλάγιες περιοχές της κεφαλής, που δεν επηρεάζονται από την τριχόπτωση ανδρογενετικού τύπου. Στη συνέχεια μετέφερε τα μοσχεύματα αυτά σε περιοχές του κεφαλιού που ήταν αραιές ή φαλακρές. Είναι αξιοσημείωτο ότι το πρώτο άρθρο του, που περιέγραφε την τεχνική του, απορρίφθηκε λόγω της δυσπιστίας της επιστημονικής κοινότητας για τα αποτελέσματά του, κι η πρωτοποριακή αυτή τεχνική τελικά δημοσιεύθηκε το 1959.

Στο άρθρο εκείνο κάνει χρήση του όρου «υπεροχή δότριας» για να εξηγήσει τη βασική αρχή της μεταμόσχευσης μαλλιών, που υποστηρίζει ότι τα μεταμοσχευμένα τριχοθυλάκια εξακολουθούν να εκφράζουν τα ίδια χαρακτηριστικά της περιοχής από την οποία προήλθαν. Με άλλα λόγια, οι μεταμοσχευμένες τρίχες εξακολουθούν να φυτρώνουν στη φαλακρή περιοχή όπως αν βρίσκονταν στην αρχική τους θέση.

Παρά την πρωτοποριακή τεχνική και την επιτυχία της φύτευσης των μεταμοσχευμένων τριχοθυλακίων, το κοσμητικό αποτέλεσμα ήταν εξαιρετικά αφύσικο. Το μεγάλο μέγεθος των τριχοθυλακίων ήταν η κύρια αιτία του αισθητικά μη αποδεκτού αποτελέσματος, ενώ η για χρόνια χρήση της συγκεκριμένης τεχνικής αποθάρρυνε πολλούς απ' το να υποβληθούν σε αυτή την θεραπευτική πρακτική.

Η ιδέα μιας μεταμόσχευσης με χρήση μεμονωμένων τριχοθυλακίων (FUs) ώστε το αποτέλεσμα να είναι φυσικό περιγράφηκε το 1995 από τους Bernstein και Rassman.<sup>2,3,4</sup> Η τεχνική αυτή ονομάστηκε Follicular Unit Transplantation (FUT) και βασίστηκε στην ιδέα του διαχωρισμού και απομόνωσης των τριχοθυλακίων από τη δότρια ζώνη με την χρήση στερεο-μικροσκοπίου. Έτσι, η μεταμόσχευση φυσικών μονάδων τριχοθυλακίων αύξησε σημαντικά τη δημοφιλία της μεταμόσχευσης μαλλιών αφού το αποτέλεσμα μπορούσε να είναι πολύ φυσικό. Ταυτόχρονα, όμως, κατέστησε την τεχνική εξαιρετικά απαιτητική αναφορικά με τα προσόντα και τις ικανότητες του χειρουργού και της χειρουργικής ομάδας.

Τα ανθρώπινα τριχοθυλάκια (FUs)<sup>5</sup> (εικ. 2.1) είναι σαφώς καθορισμένες και αφορισμένες ανατομικές μονάδες, που αποτελούνται από 1, 2, 3, 4 και σπανιότερα περισσότερα στελέχη τριχών. Επίσης, έχουν αυτόνομη νεύρωση και αιμάτωση και δικό τους ανελκτήρα μυ και σημηματογόνο αδένα. Οι μονάδες αυτές αφορίζονται από το εξωτερικό τους περιβάλλον με κολλαγόνο ιστό, που τις καθιστά εντελώς ξεχωριστές δομές.

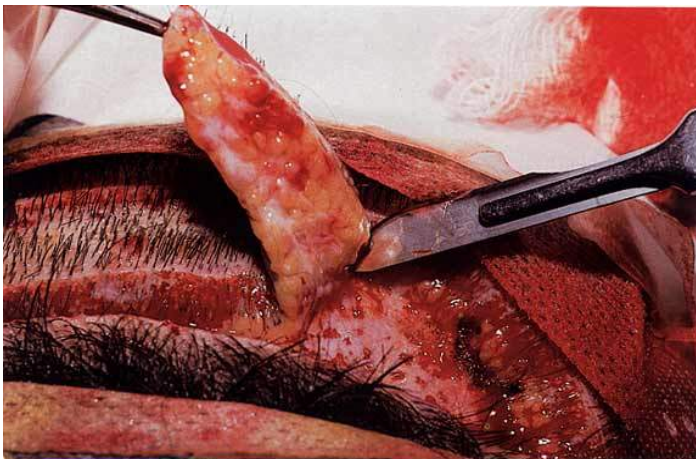


Εικόνα 2.1: Τρίτριχο τριχοθυλάκιο. Διακρίνεται ο σμηγματογόνος αδένας, τα στελέχη των τριχών και ο κολλαγόνος ιστός.

Η διατήρηση της ακεραιότητας της δομής των τριχοθυλακίων κατά τη διάρκεια της μεταμόσχευσης είναι βασική προϋπόθεση για τη μέγιστη επιβίωση και φύτρωση των μοσχευμάτων. Η χρήση στη μεταμόσχευση των φυσικών τριχοθυλακίων έχει εξελίξει την τεχνική, διότι συμβάλλει αποφασιστικά σε ένα πλήρως φυσικό και πυκνό αποτέλεσμα.

Γενικά, σήμερα έχουν καθιερωθεί δύο βασικές τεχνικές μεταμόσχευσης τριχοθυλακίων. Η πρώτη είναι η τεχνική strip, που συνίσταται στην εκτομή μιας λωρίδας τριχωτού από τη δότρια ζώνη αφού προηγηθεί τοπική αναισθησία (εικ.2.2A, B). Ακολουθεί συρραφή του τραύματος και διαχωρισμός των τριχοθυλακίων με τη βοήθεια στερεο-μικροσκοπίου. Το αποτέλεσμα, στα χέρια ενός καλά εκπαιδευμένου ιατρού, μπορεί να είναι αισθητικά άριστο. Εντούτοις, η μέθοδος παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα:

- Ο επεμβατικός της χαρακτήρας.
- Η παρουσία μόνιμης ουλής στη δότρια ζώνη.
- Ο μακρύτερος χρόνος αποθεραπείας του ασθενούς.



Εικόνα 2.2A: Τεχνική strip.





Εικόνα 2.2B: Μετεγχειρητικές ουλές από strip.

Η δεύτερη τεχνική ονομάζεται FUE και περιγράφηκε πρώτη φορά από τους Rasman και Bernstein το 2002.<sup>6,7</sup> Με τη βοήθεια ενός κυλινδρικού κοφτήρα-punch διαμέτρου από 0,75-1,2 mm (εικ. 2.3), γίνεται μια μικρή κυκλική τομή γύρω από το τριχοθυλάκιο ή τμήμα του τριχοθυλακίου. Το τριχοθυλάκιο συλλέγεται με τη βοήθεια μιας λαβίδας. Συνήθως η τεχνική απαιτεί η δότρια ζώνη να ξυριστεί ώστε οι τρίχες να έχουν μήκος 2-3 mm. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι ο χειρουργός να συλλέξει τον επιθυμητό αριθμό μοσχευμάτων ή τριχών. Η συλλογή του απαραίτητου αριθμού μοσχευμάτων εξαρτάται από το μέγεθος του περιστατικού και μπορεί να διαρκέσει λίγες ώρες ή να απαιτήσει 2 ή 3 συνεχόμενες μέρες.



Εικόνα 2.3: Punch διαμέτρου 1,1 mm.

Η διαδικασία μπορεί να πραγματοποιηθεί χειροκίνητα ή με τη χρήση μηχανικού punch ή, προσφάτως, με τη βοήθεια ρομποτικού συστήματος, που ονομάζεται ARTAS<sup>8</sup> (εικ. 2.4). Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ο ελάχιστος επεμβατικός της χαρακτήρας και η ταχύτητα επουλώσης του τραύματος. Η μετεγχειρητική ανάνηψη είναι ταχύτερη και περισσότερο ανώδυνη για τον ασθενή σε σχέση με το strip. Τα τραύματα στη δότρια ζώνη επουλώνονται πλήρως σε διάστημα 7-10 ημερών και ο ασθενής μπορεί να επιστρέψει πιο γρήγορα στον καθημερινό τρόπο ζωής του.



Εικόνα 2.4: Ρομποτικό σύστημα ARTAS.

Η τεχνική κερδίζει συνεχώς σε δημοφιλία, έτσι που σήμερα πλέον οι μισές επεμβάσεις μεταμόσχευσης μαλλιών να πραγματοποιούνται με την τεχνική FUE.

Εν συνεχεία τα μοσχεύματα τοποθετούνται μέσα σε κατάλληλα διαμορφωμένες υποδοχές στην πάσχουσα περιοχή, όπου θα αναπτυχθούν σε φυσιολογικά τριχοθυλάκια. Οι υποδοχές γίνονται είτε με τη βοήθεια βελόνας 19, 20 ή 21G είτε με τη χρήση νυστεριού μεγέθους 0,9 - 1 mm. Η τοποθέτηση των μοσχευμάτων γίνεται με τη χρήση λαβίδας ή ειδικού εμφυτευτή (εικ. 2.5).



Εικόνα 2.5

Η διαδικασία της δημιουργίας υποδοχών και της τοποθέτησης είναι ουσιαστικά ίδια και για τις δύο τεχνικές που περιγράψαμε. Συνεπώς, αυτό που διαφοροποιεί την μια τεχνική από την άλλη είναι ο τρόπος αφαίρεσης των τριχοθυλακίων και η τελική εμφάνιση της δότριας ζώνης.

Η βασική αρχή του FUE στηρίζεται στην αρχή πως μπορούμε να αφαιρέσουμε μέχρι και το 50% της μάζας των τριχών από τη δότρια ζώνη χωρίς να γίνει αντιληπτή στον ανθρώπινο οφθαλμό η μείωση της πυκνότητας.

## Ενδείξεις και αντενδείξεις του FUE

Στο σημείο αυτό παραθέτουμε τις κύριες ενδείξεις για την εφαρμογή της τεχνικής FUE.

- Σε ασθενείς που επιθυμούν να διατηρούν τα μαλλιά τους πολύ κοντά.
- Σε ασθενείς που επιθυμούν μια ελάχιστα επεμβατική τεχνική και έχουν υπερβολικό φόβο για την τεχνική strip.
- Ιδανική για ασθενείς με μικρό πρόβλημα αραιώσης φαλάκρας (Northwood III ή μικρότερο).
- Για αποκατάσταση φρυδιών.
- Για την κάλυψη ουλών του τριχωτού ή του γενιού, είτε από ατυχήματα ή εγκαύματα, είτε από χειρουργικές επεμβάσεις (εικ. 2.6).
- Όταν η τεχνική strip δεν μπορεί να εφαρμοστεί λόγω μικρής ελαστικότητας του δέρματος. (Πιθανότητα ανάπτυξης δύσμορφης ουλής).
- Σε ασθενείς που έχουν την τάση να αναπτύσσουν χειλοειδή.
- Σε ασθενείς με φτωχή δότρια ζώνη της κεφαλής, η μεταμόσχευση τριχοθυλακίων από το γένι ή το υπόλοιπο σώμα αποτελεί μια δυνατότητα με τη χρήση του FUE .
- Σε αθλητές, που το strip απαιτεί αποχή από έντονη σωματική άσκηση για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- Σε ασθενείς με अपαράδεκτα αισθητικά αποτελέσματα από προηγούμενες τεχνικές, το FUE μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να αφαιρεθούν τα μοσχεύματα μεγάλου μεγέθους και να βελτιωθεί η εικόνα του ασθενούς.



Εικόνα 2.6: Αποκατάσταση ουλής με χρήση FUE.

Οι αντενδείξεις του FUE, επιγραμματικά:

- Για ασθενείς με χαμηλή πυκνότητα δότριας ζώνης.
- Προηγούμενες επεμβάσεις FUE που οδήγησαν σε υπερβολική ίνωση και δημιουργία ουλώδους ιστού στη δότρια ζώνη.
- Απαράδεκτα υψηλό ποσοστό τραυματισμού των τριχοθυλακίων στη δότρια ζώνη.
- Για ασθενείς που δεν επιθυμούν να ξυρίσουν το κεφάλι τους, ιδιαίτερα οι γυναίκες. Η περίπτωση αυτή αποτελεί σχετική αντένδειξη, μιας και στο FUE μπορεί να εφαρμοστεί η ακούρευτη τεχνική. Η τελευταία είναι τεχνικά πιο απαιτητική, ενδέχεται να μην είναι πάντα εφαρμόσιμη και συνιστάται για μικρά συνήθως περιστατικά.
- Τέλος, επειδή το FUE είναι πιο αργή τεχνική, ενδέχεται να αποτελεί σοβαρή αντένδειξη για κάποιους ασθενείς.

Συνεπώς το FUE είναι μια μέθοδος μεταμόσχευσης μαλλιών πολύ αποτελεσματική, εφόσον συντρέχουν οι κατάλληλες προϋποθέσεις και υπάρχουν οι σωστές ενδείξεις της εφαρμογής του. Η προτίμηση που δείχνουν οι ασθενείς σε αυτή τη τεχνική, λόγω της απουσίας μετεγχειρητικής ουλής, έχει οδηγήσει πολλούς ιατρούς στο να την χρησιμοποιούν όλο και περισσότερο. Παράλληλα, λόγω του μεγάλου οικονομικού ενδιαφέροντος που παρουσιάζει αυτός ο χώρος της κοσμητικής ιατρικής, έχει αυξηθεί και το ερευνητικό ενδιαφέρον για την τεχνική FUE παρουσιάζοντας αλματώδη εξέλιξη τα τελευταία χρόνια.

Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν μερικά βασικά προβλήματα της τεχνικής αυτής σε σχέση με το strip, που μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά την αποτελεσματικότητά της. Τα κυριότερα μειονεκτήματα της τεχνικής είναι το μεγαλύτερο ποσοστό τραυματισμού των τριχοθυλακίων κατά την εξαγωγή τους με το punch, σε σχέση με την τεχνική strip, και ο τραυματισμός της δότριας ζώνης που προκαλείται από το punch, καθώς σε επαναλαμβανόμενες συνεδρίες οδηγεί σε εκτεταμένη ουλοποίηση και υποχρωματισμό του δέρματος.

Στη συνέχεια της διατριβής θα επιχειρήσουμε να προσεγγίσουμε τα προβλήματα αυτά με αρχές της Φυσικής και εφαρμογή κατάλληλης μαθηματικής μεθοδολογίας.

# ΜΕΡΟΣ Β΄

**Ειδικά**

---



# 3

## Η ΦΥΣΙΚΗ ΤΟΥ FUE

Η μέθοδος FUE (Follicular Unit Extraction)<sup>1,2</sup> είναι μία σχετικά καινούρια μέθοδος για την εξαγωγή τριχοθυλακίων από τη δότρια περιοχή του τριχωτού της κεφαλής. Αυτή η τεχνική βασίζεται στην απομόνωση και συγκέντρωση μεμονωμένων τριχοθυλακίων από τη δότρια ζώνη ώστε να χρησιμοποιηθούν ως μοσχεύματα. Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί με τη χρήση χειροκίνητου punch, μηχανοκίνητου punch ή πιο πρόσφατα με ρομποτικό σύστημα.<sup>3,4,5</sup>

Η μέθοδος FUE είναι πολύ δημοφιλής καθώς είναι μία ελάχιστα επεμβατική μέθοδος. Παρ' όλα αυτά, ο τραυματισμός του δέρματος και του τριχωτού της κεφαλής καθώς και το υψηλό ποσοστό διατομής σε σχέση με τη μέθοδο strip παραμένουν το κυριότερο πρόβλημα για τους χειρουργούς της FUE τεχνικής.

Η μελέτη της Ιατρικής Φυσικής περιλαμβάνει την εφαρμογή των μαθηματικών και της φυσικής, καθώς και θεωρίες και μεθόδους για την παροχή φροντίδας υγείας. Στόχος μας είναι να εξηγήσουμε πώς οι αρχές της Ιατρικής Φυσικής και των μεθόδων μαθηματικής μοντελοποίησης μπορούν να εφαρμοστούν για τη μείωση του transection rate καθώς και του τραυματισμού της δότριας ζώνης, που προκαλούνται από την FUE τεχνική.

Το FOLLYSIS<sup>®</sup> είναι ένα λογισμικό, το οποίο αναγνωρίζει αυτόματα τα τριχοθυλάκια στις μικροφωτογραφίες και υπολογίζει σημαντικά χαρακτηριστικά του τριχωτού της κεφαλής, όπως η πυκνότητα των μαλλιών/μοσχευμάτων. Επιπλέον, θα δείξουμε πώς το σύστημα αυτό επιτρέπει την καλύτερη και πιο αποτελεσματική χρήση της τεχνικής FUE, με την ελαχιστοποίηση του τραυματισμού του δέρματος και τη βελτίωση της ποιότητας των μοσχευμάτων.

### Μαθηματική εισαγωγή στις θεμελιώδεις αρχές του FUE

Κατά τη γνώμη μας, ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της τεχνικής FUE κατά τη διάρκεια της εξαγωγής είναι η διάτμηση των τριχοθυλακίων (transection). Αυτό είναι γνωστό και ως transection rate (ποσοστό διατομής) και είναι ίσο με το ποσοστό των διατμημένων τριχοθυλακίων κατά τη διάρκεια της εξαγωγής. Οποιαδήποτε αύξηση του transection rate έχει ως επακόλουθα τα εξής:

- Μεγαλύτερο τραυματισμό στη δότρια ζώνη, διότι απαιτούνται περισσότερες προσπάθειες για την εξαγωγή.
- Αύξηση του χρόνου εξαγωγής για την απόκτηση του επιθυμητού αριθμού

μοσχευμάτων.

- Πιθανώς μακροπρόθεσμο ερεθισμό και δυσφορία του ασθενούς, καθώς το υπολειπόμενο τμήμα του διατμημένου τριχοθυλακίου συνεχίζει να φυτρώνει κάτω από το δέρμα.

Το transection rate ορίζεται ως:

$$n = \left[ 1 - \frac{\text{number of extracted FUs}}{\text{number of holes}} \right] \cdot 100\% = \left[ 1 - \frac{\text{number of grafts obtained}}{\text{number of punch attempts}} \right] \cdot 100\% \quad (3.1)$$

Η εξίσωση αυτή αντανακλά την απόδοση της διαδικασίας της εξαγωγής. Με λίγα λόγια: όσο υψηλότερο το  $n$ , τόσο χαμηλότερη η απόδοσή της. Στο μοντέλο μας, έχουμε διαπιστώσει ότι αν το  $n \leq 5\%$ , η διαδικασία της εξαγωγής θα είναι εύκολη. Αν  $5\% < n \leq 10\%$ , η εξαγωγή είναι αποδεκτή. Αν  $10\% < n \leq 20\%$ , η εξαγωγή θεωρείται δύσκολη και μπορεί να συνεχισθεί είτε αν η επέμβαση είναι μικρή είτε αν τα τριχοθυλάκια απομακρύνονται απευθείας από τη δότρια ζώνη και εμφυτεύονται άμεσα στις λήπτριες περιοχές. Αν  $n > 20\%$ , συνιστούμε παύση της επέμβασης και επαναξιολόγηση ή ακύρωσή της.

Πιστεύουμε, όμως, ότι το transection rate από μόνο του είναι ανεπαρκές για την αξιολόγηση της ποιότητας της εξαγωγής. Για το σκοπό αυτό εισάγεται ένας νέος μαθηματικός συντελεστής, τον οποίο ονομάζουμε λόγο  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{h}{g},$$

όπου  $h$  ο αριθμός τριχών και  $g$  ο αριθμός μοσχευμάτων.

Ο συντελεστής  $\lambda$  εκφράζει το μέσο αριθμό των τριχών ανά τριχοθυλάκιο που εξαγεται.

Για να τονίσουμε τη σημασία του  $\lambda$ , ας ρίξουμε μια ματιά σε μια ασυνήθιστη κατάσταση και περίπτωση, σε μια επέμβαση με τη χρήση της FUE τεχνικής. Ας υποθέσουμε ότι η δότρια περιοχή του τριχωτού της κεφαλής είναι γεμάτη με πολλαπλά και ανέπαφα τριχοθυλάκια και το  $n \leq 10\%$ . Αυτό δεν σημαίνει ότι η εξαγωγή θα είναι επιτυχής, καθώς η πλειονότητα των τριχοθυλακίων μπορεί να είναι μονά και όχι ανέπαφα. Ως εκ τούτου, το  $n$  αποτυγχάνει να περιγράψει αυτή τη συγκεκριμένη κλινική κατάσταση. Ο υπολογισμός του  $\lambda$  κατά τη διάρκεια της διαδικασίας θα επιτρέψει στον χειρουργό να αξιολογήσει το ποσοστό επιτυχίας της εξαγωγής.

Με βάση την εμπειρία μας, μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή του  $\lambda$  κατά την έναρξη της διαδικασίας συλλέγοντας 100-200 μοσχεύματα και μετρώντας το συνολικό αριθμό των τριχών. Οι βοηθοί μου είναι υπεύθυνοι για το διαχωρισμό των τριχοθυλακίων σε διαφορετικά τρυβλία Petri των 1, 2, 3, 4 ή περισσότερων τριχών, και διαιρούν το συνολικό αριθμό των τριχών με το συνολικό αριθμό των μοσχευμάτων για να βρουν την τιμή του  $\lambda$ .

Για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της εξαγωγής, χρησιμοποιούμε τους παρακάτω κανόνες:

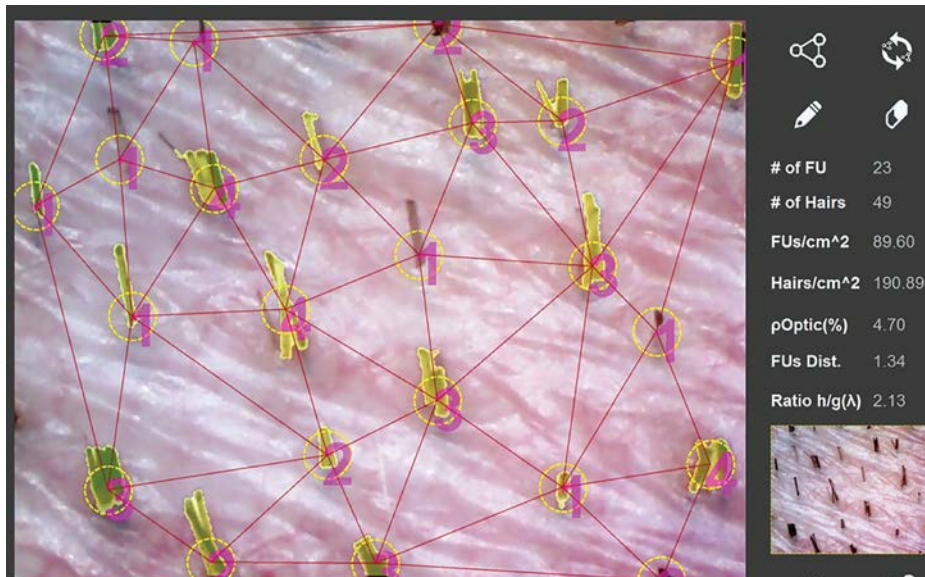
- Αν  $\lambda \geq 2,3$ , η διαδικασία είναι επιτυχής και η επέμβαση συνεχίζεται.
- Αν  $\lambda \leq 1,8$ , θα πρέπει να σταματήσει η επέμβαση Η απόφαση αυτή βασίζεται



στην υψηλή πιθανότητα εξαγωγής κατώτερης ποιότητας μοσχευμάτων, καθώς η πλειονότητα των μοσχευμάτων δεν θα είναι άθικτη (το body-hair εξαιρείται).

- Αν το  $\lambda$  είναι μεταξύ 1,8 και 2,3, η απόφαση να συνεχιστεί η διαδικασία βασίζεται στον υπολογισμό ενός νέου μαθηματικού συντελεστή, το μερικό λόγο  $\lambda_p = \frac{\lambda_e}{\lambda_d}$  (3.2), όπου  $\lambda_e$  είναι ο λόγος της επέμβασης, ενώ  $\lambda_d$  είναι ο λόγος της δότριας ζώνης.

Προκειμένου να υπολογιστεί το  $\lambda_d$ , και πριν από την έναρξη της εξαγωγής, παίρνουμε μικροφωτογραφίες από τα πιο σημαντικά τμήματα της δότριας ζώνης. Κάθε εικόνα καρέ επεξεργάζεται από το FOLLYSIS<sup>®</sup> ώστε να υπολογισθεί αυτόματα τόσο ο αριθμός των τριχοθυλακίων όσο και των τριχών. Στη συνέχεια, το σύστημα διαιρεί το συνολικό αριθμό των τριχών με το συνολικό αριθμό των μοσχευμάτων ώστε να βρεθεί η τιμή του  $\lambda_d$  (εικ. 3.1)\*.



Εικόνα 3.1: Υπολογισμός του  $\lambda=2,13$  από το FOLLYSIS<sup>®</sup>.

Έχοντας υπολογίσει τα  $\lambda_d$  και  $\lambda_e$  χρησιμοποιώντας την εξίσωση 3.2, μπορούμε να βρούμε το  $\lambda_p$ . Με βάση την εμπειρία μας:

- Αν  $\lambda_p \geq 1$ , η επέμβαση θα πρέπει να συνεχιστεί.

Αλλά:

- Αν  $\lambda_p < 1$ , θα πρέπει να σταματήσει η επέμβαση.

Στην περιγραφή του ιατρικού αυτού μοντέλου φυσικής, πρέπει να τονιστεί ότι το  $\lambda_p$  σχετίζεται με το partial transection rate. Έτσι, όσο υψηλότερο είναι το partial transection rate, τόσο μειώνεται η τιμή του  $\lambda_p$ .

Για να γίνει πιο κατανοητό, το partial transection είναι η κατάσταση κατά την οποία τα μοσχεύματα, που έχουν εξαχθεί, έχουν ένα ή περισσότερα από τα στελέχη τους διατμημένα. Ως εκ τούτου, το partial transection rate είναι το ποσοστό των

(\*) Σχετικά με τα πνευματικά δικαιώματα των φωτογραφιών αυτού του κεφαλαίου, βλ. ειδική αναφορά στη βιβλιογραφία, στο τέλος του παρόντος συγγράμματος.

ληφθέντων μοσχευμάτων που δεν είναι άθικτα.

Ο υπολογισμός των  $n$ ,  $\lambda$  και  $\lambda_p$  είναι ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση της προόδου της FUE επέμβασης.

## Το μοντέλο της γωνίας έκφυσης

### *Γεωμετρία, Ιατρική Φυσική και γωνία έκφυσης των τριχών*

Το τραύμα στη δότρια ζώνη, που προκαλείται κατά τη διάρκεια της εξαγωγής, αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες ανησυχίες για τους ασθενείς και τους γιατρούς. Η τελική εμφάνιση της δότριας περιοχής του τριχωτού της κεφαλής, όταν η επούλωση είναι πλήρης, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα πολλά μικρά λευκά στίγματα, γνωστά ως υποχρωματισμός (hyporipmentation). Ο υποχρωματισμός μπορεί να είναι αισθητός, αν το μήκος μαλλιών του ασθενούς είναι 1-2 mm (εικ. 3.2). Είναι λιγότερο ή καθόλου αισθητός εάν το μήκος των μαλλιών είναι μεγαλύτερο από 4-5 mm.



Εικόνα 3.2: Πολυάριθμες μικρές ουλές ή hyporipmentation στη δότρια ζώνη.

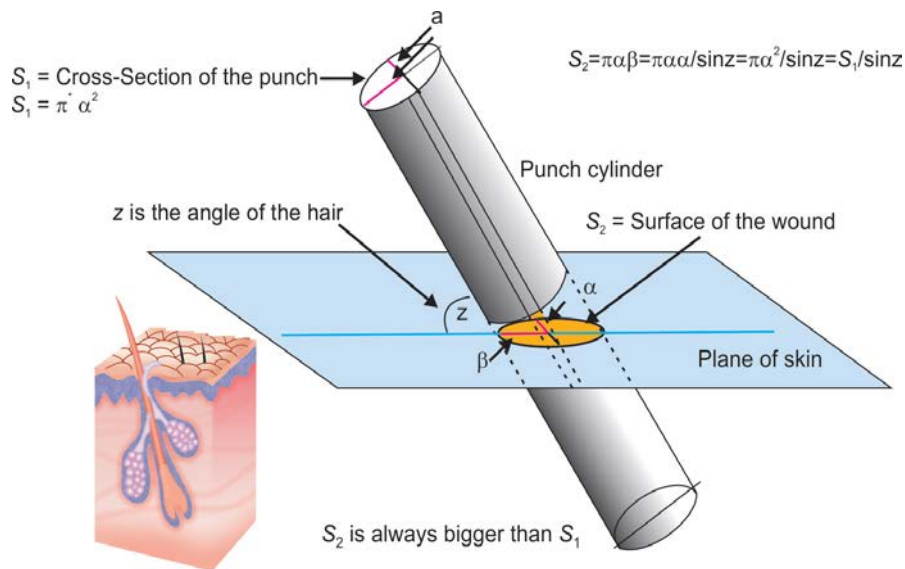
Το μέγεθος του τραυματισμού της δότριας ζώνης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η διάμετρος του punch, ο αριθμός των τριχοθυλακίων που εξάγονται ανά τετραγωνικό εκατοστό, το transection rate, η απόσταση μεταξύ των πυλών εισόδου του punch και ο αριθμός προηγούμενων FUE επεμβάσεων. Γενικότερα, όσο περισσότερες οι χειρουργικές επεμβάσεις, που έχει κάνει ο ασθενής, τόσο υψηλότερο είναι το ποσοστό του τραυματισμού της δότριας ζώνης.

Με βάση τους πάρα κάτω μαθηματικούς υπολογισμούς, ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες είναι η γωνία έκφυσης των τριχοθυλακίων. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, καταλήξαμε σε ένα μαθηματικό τύπο, ο οποίος:

- καθορίζει τη σχέση μεταξύ της γωνίας και του τραυματισμού,
- υπολογίζει το ακριβές ποσοστό του τραυματισμού του δέρματος, και
- παρέχει πληροφορίες σχετικά με το πώς μπορεί να μειωθεί το τραύμα.

Προκειμένου να εξαχθεί ένα μόσχευμα ανέπαφο από τη δότρια ζώνη, ο άξονας του punch πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένος με τη γωνία εξόδου των τριχών στην επιφάνεια του δέρματος. Η γωνία εξόδου των τριχών ενός τριχοθυλακίου δεν είναι πάντα η ίδια με τις γωνίες των άλλων τριχοθυλακίων στην ίδια περιοχή του τριχωτού της κεφαλής. Αυτό καθιστά την εξαγωγή μία πρόκληση για τον ιατρό.

Η εμπειρία στην εξαγωγή μπορεί να περιγραφεί με απλούς γεωμετρικούς όρους. Η εικόνα 3.3 αναπαριστά τον κύλινδρο του punch, που κόβει την επιφάνεια του δέρματος σε μια ορισμένη γωνία  $z$ , όπου  $z$  είναι η γωνία εξόδου των τριχών.



Εικόνα 3.3: Η διάμετρος της επιφάνειας του τραύματος ( $S_2$ ) είναι μεγαλύτερη από την εγκάρσια διατομή του punch ( $S_1$ ), όταν η γωνία έκφυσης δεν είναι κάθετη.

Μπορεί να παρατηρηθεί ότι, ενώ η εγκάρσια διατομή ( $S_1$ ) είναι κυκλική, το σχήμα του τραύματος ( $S_2$ ) είναι ελλειπτικό. Με βάση αυτή τη σημαντική παρατήρηση, μπορούμε να βρούμε, από την τριγωνομετρική θεωρία, ότι:

$$S_2 = \frac{s_1}{\sin z}.$$

Υποθέτοντας ότι το  $\alpha$  είναι η ακτίνα του κυλίνδρου του punch, μπορούμε να υποθέσουμε με ασφάλεια ότι ένας από τους δύο ημι-άξονες του ελλειπτικού τραύματος είναι ίσος με  $\alpha$ . Ο δεύτερος,  $\beta$ , δίδεται από τον τύπο  $\beta = \frac{\alpha}{\sin z}$  (3.3).

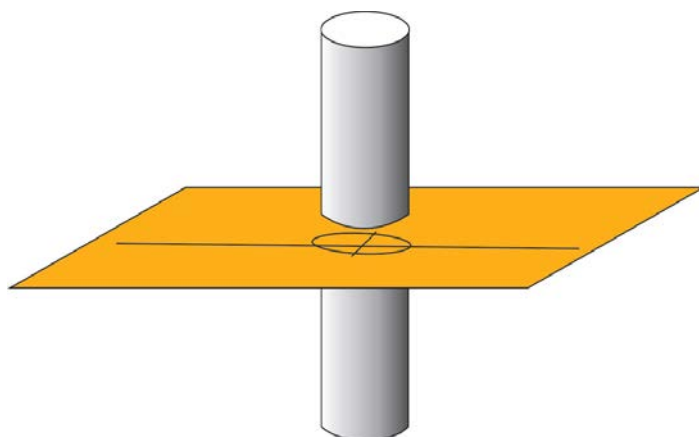
Οπότε  $S_1 = \pi a^2$  (3.4), όπου  $\pi = 3,14$ , ενώ:

$$S_2 = \pi \cdot \alpha \cdot \beta = \frac{\pi \cdot \alpha \cdot \alpha}{\sin z} = \frac{\pi \cdot \alpha^2}{\sin z} = \frac{s_1}{\sin z} \quad (3.5)$$

Αφού η γωνία  $\sin z$  κυμαίνεται από 0-1 όταν  $z \in [0, 90^\circ)$ , τότε το  $S_2$  είναι πάντα μεγαλύτερο από το  $S_1$ . Αυτή η απλή τριγωνομετρική εξίσωση εξηγεί γιατί το punch

προκαλεί μια επιφάνεια τραύματος μεγαλύτερη από την εγκάρσια διατομή του. Όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία  $z$ , τόσο μικρότερη είναι η επιφάνεια του τραύματος, και αντιστρόφως.

Η μόνη περίπτωση όπου  $S_1=S_2$  συμβαίνει όταν η γωνία έκφυσης  $z$  είναι στις  $90^\circ$ , επιτρέποντας τον άξονα του runch να τοποθετηθεί κάθετα προς την επιφάνεια του δέρματος (εικ. 3.4).



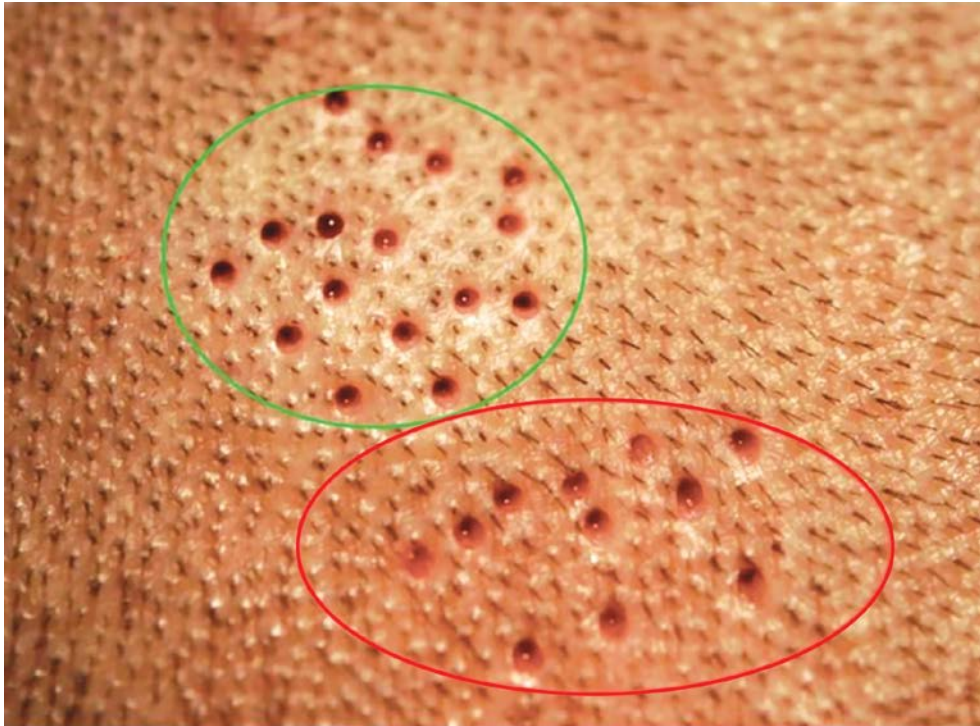
Εικόνα 3.4: Όταν το runch τοποθετείται στις  $90^\circ$ , η επιφάνεια του τραύματος είναι ίση με την εγκάρσια διατομή.

## Αποτελέσματα

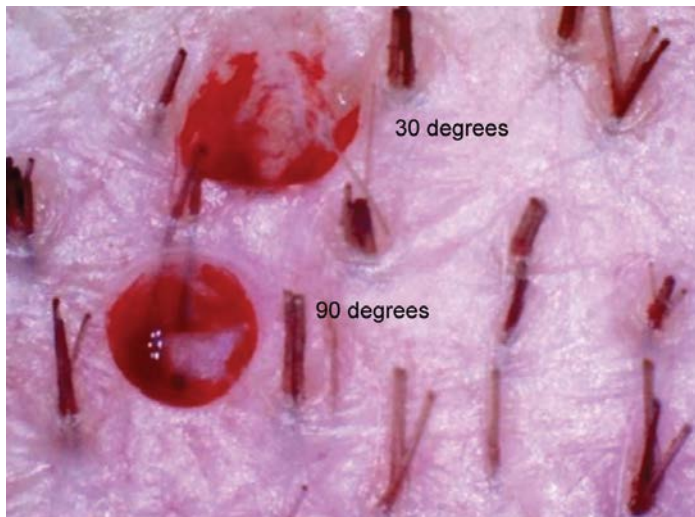
Δεδομένου ότι η γωνία  $z$  είναι στις  $30^\circ = \frac{1}{2}$ , είναι προφανές ότι από τον τύπο 4.5 συνεπάγεται  $S_2=2S_1$ . Αυτό δηλώνει μια 100% αύξηση του τραύματος που προκλήθηκε από το runch.

Το πιο σημαντικό που πρέπει να κατανοήσουν οι χειρουργοί της τεχνικής FUE είναι ότι το ίδιου μεγέθους runch προκαλεί τραύματα διαφορετικής διαμέτρου στο τριχωτό της κεφαλής με διαφορετικές γωνίες εξόδου των τριχών (εικ. 3.5). Τα τραύματα που παράγονται από το ίδιου μεγέθους runch στις  $90^\circ$  και  $30^\circ$  αποδεικνύουν και πάλι αυτή την υπόθεση (εικ. 3.6).

Συνεπώς το τραύμα που παράγεται από runch τοποθετημένο στις  $90^\circ$  ή κάθετα προς την επιφάνεια του δέρματος είναι ένας κύκλος. Αντίθετα, ένα runch που τοποθετείται σε μια πιο οξεία γωνία δημιουργεί ένα ελλειπτικό τραύμα, που είναι σημαντικά μεγαλύτερο σε έκταση επιφάνειας σε σχέση με το runch που τοποθετείται κάθετα.



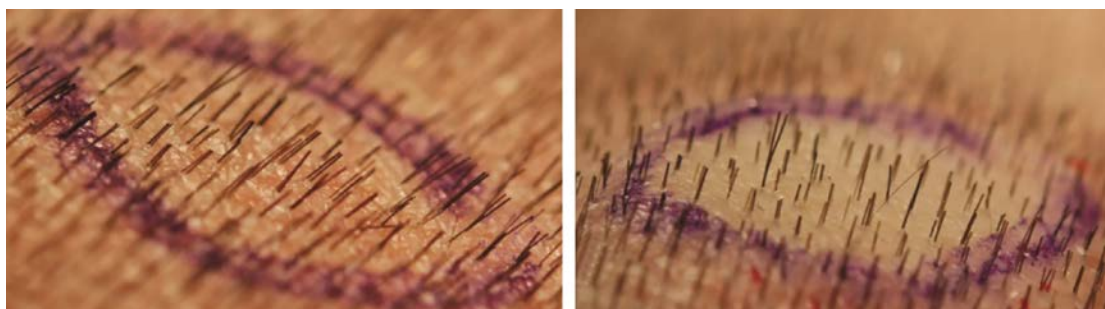
Εικόνα 3.5: Ένα runch 1,0 mm σε διαφορετικές γωνίες προκαλεί διαφορετικού μεγέθους οπές. Οι οπές μέσα στον πράσινο κύκλο δημιουργήθηκαν τοποθετώντας το runch κάθετα στην επιφάνεια της δότριας ζώνης, ενώ οι τρύπες μέσα στον κόκκινο κύκλο δημιουργήθηκαν τοποθετώντας το runch σε οξεία γωνία.



Εικόνα 3.6: Η μικροφωτογραφία (ψηφιακή μικροφωτογραφία ProScope HR2, μεγέθυνση 50x) δείχνει τη διαφορά κάθε τραύματος, που δημιουργούνται από runch ίδιου μεγέθους στις 30° και 90° αντίστοιχα.

## Ο ρόλος της γωνίας έκφυσης στον τραυματισμό της δότριας ζώνης

Για να μειωθεί το τραύμα που προκαλεί το runch λόγω της εγκάρσιας διατομής αλλά και το συνολικό τραύμα της επιφάνειας του τριχωτού της κεφαλής, ώστε να μειωθεί το φαινόμενο του υποχρωματισμού, προτείνω την ενδοδερμική έγχυση φυσιολογικού ορού στη δότρια ζώνη. Με την έγχυση φυσιολογικού ορού προκαλείται καθετοποίηση των τριχοθυλακίων (εικ. 3.7 A και B) και η τιμή του  $\sin z$  αυξάνεται κάνοντας έτσι την τιμή της  $S_2$  πολύ μικρότερη.



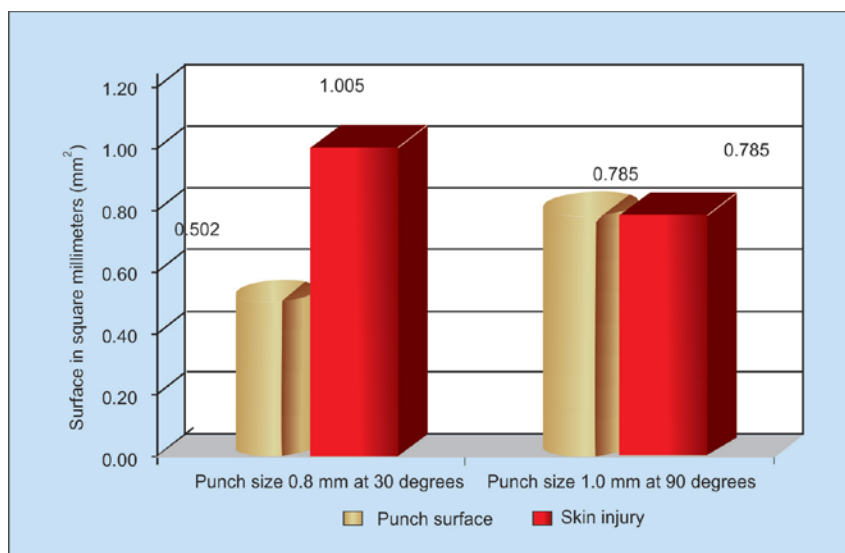
Εικόνες 3.7 A και B: (A) Πριν την έγχυση φυσιολογικού ορού. (B) Μετά την έγχυση φυσιολογικού ορού ενδοδερμικά. Τα τριχοθυλάκια καθετοποιούνται, οπότε το runch μπορεί να τοποθετηθεί κάθετα προς την επιφάνεια του δέρματος δημιουργώντας μικρότερου μεγέθους οπές.

Με βάση τις αρχές, κατά τις οποίες η επιφάνεια του κύκλου  $S_1$  δίνεται από τον τύπο  $S_1 = \pi \alpha^2$ , όπου  $\alpha$  είναι η ακτίνα του runch, και η επιφάνεια του τραύματος δίνεται από τον τύπο  $S_2 = \frac{S_1}{\sin z}$ , διαπιστώνουμε ότι σε ένα runch διαμέτρου 0,8 mm αντιστοιχεί επιφάνεια εγκάρσιας διατομής 0,5024 mm<sup>2</sup> και προκαλεί τραύμα επιφάνειας 1,0048 mm<sup>2</sup> όταν η γωνία  $z$  είναι 30°.

Ωστόσο, μετά την έγχυση φυσιολογικού ορού, ένα runch διαμέτρου 1,0 mm αντιστοιχεί σε μια επιφάνεια εγκάρσιας διατομής ίση με 0,785 mm<sup>2</sup> και προκαλεί το ίδιο μέγεθος τραύματος όταν η γωνία  $z$  είναι στις 90°.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα 3.8.

Οι χρυσές στήλες αντιπροσωπεύουν την επιφάνεια του runch και οι κόκκινες, το αντίστοιχο τραύμα. Είναι απλό να υπολογιστεί ότι ένα runch 1,0 mm έχει  $(\frac{0.785 - 0.5024}{0.5024})\% = 56,25\%$  μεγαλύτερη επιφάνεια εγκάρσιας διατομής από ένα runch 0,8 mm.



Εικόνα 3.8: Ένα punch 1,0 mm, που τοποθετείται στις 90°, προκαλεί μικρότερο τραύμα από ένα punch που τοποθετείται στις 30°. Ακόμα κι αν χρησιμοποιηθεί ένα 56,25% μεγαλύτερης επιφάνειας εγκάρσιας διατομής punch, ο τραυματισμός του δέρματος μειώνεται κατά 21,98%.

Επιπλέον, το ποσοστό της διαφοράς στην επιφάνεια του τραύματος είναι  $(\frac{1.0048 - 0.785}{1.0048})\% = 21,98\%$ .

Ακόμη κι αν χρησιμοποιηθεί ένα 56,25% μεγαλύτερης εγκάρσιας διατομής punch, ο τραυματισμός του δέρματος μειώνεται κατά 21,98%, διότι η έγχυση φυσιολογικού ορού έχει τροποποιήσει τη γωνία έκφυσης.

## Το μοντέλο της διαδικασίας εξαγωγής

Στη διαδικασία της εξαγωγής, στο FUE, ο κύριος στόχος είναι να αποκτηθούν ανέπαφα τα μόσχευμα και να αποφευχθεί διατομή των τριχοθυλακίων. Πλήρης διατομή ενός τριχοθυλακίου σημαίνει ότι ακρωτηριάζεται οπουδήποτε κατά μήκος του οριζόντιου άξονά του (εικ. 3.9 A). Η International Society of Hair Restoration Surgery ορίζει επισήμως τη διατομή ως οποιαδήποτε μικροσκοπικά ορατή θραύση της τρίχας σε οποιοδήποτε σημείο του συνολικού μήκους της. Ένα μόσχευμα μπορεί να έχει κοπεί εντελώς όταν όλα τα στελέχη του κόβονται εγκάρσια. Ένα μερικώς διατηρημένο μόσχευμα είναι αυτό του οποίου έχουν κοπεί ένα ή περισσότερα στελέχη ενώ τα υπόλοιπα είναι άθικτα (εικ. 3.9 B).

Σε μια τέτοια περίπτωση, αυτό σημαίνει ότι η τιμή του  $n$  παραμένει  $<5\%$ , ενώ η τιμή του  $\lambda_p$  είναι  $>1$ .

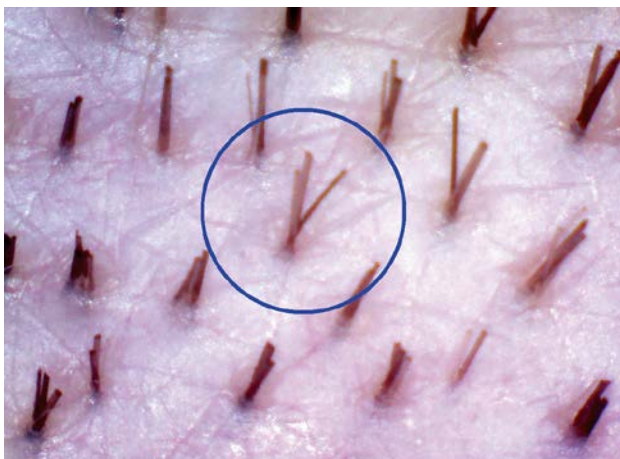


Εικόνες 3.9 Α και Β: (Α) ένα τελείως διατημένο τριχοθυλάκιο, (Β) ένα μερικώς διατημένο τριχοθυλάκιο.



Εικόνα 3.10: Η φωτογραφία δείχνει τριχοθυλάκια με 1,2,3 και 4 τρίχες.

Αλλά πώς αυτό λειτουργεί στην πράξη; Για να εφαρμοστεί η τεχνική αυτή, ο άξονας του punch πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένος με τη γωνία εξόδου της τρίχας. Είναι γνωστό ότι τα τριχοθυλάκια μπορεί να έχουν 1, 2, 3, 4 ή περισσότερα στελέχη (εικ. 3.10).



Εικόνα 3.11: Η μικροφωτογραφία (ψηφιακή μικροφωτογραφία ProScore HR2, μεγέθυνση 50x) απεικονίζει μια απόκλιση μεταξύ των στελεχών των τριχών.





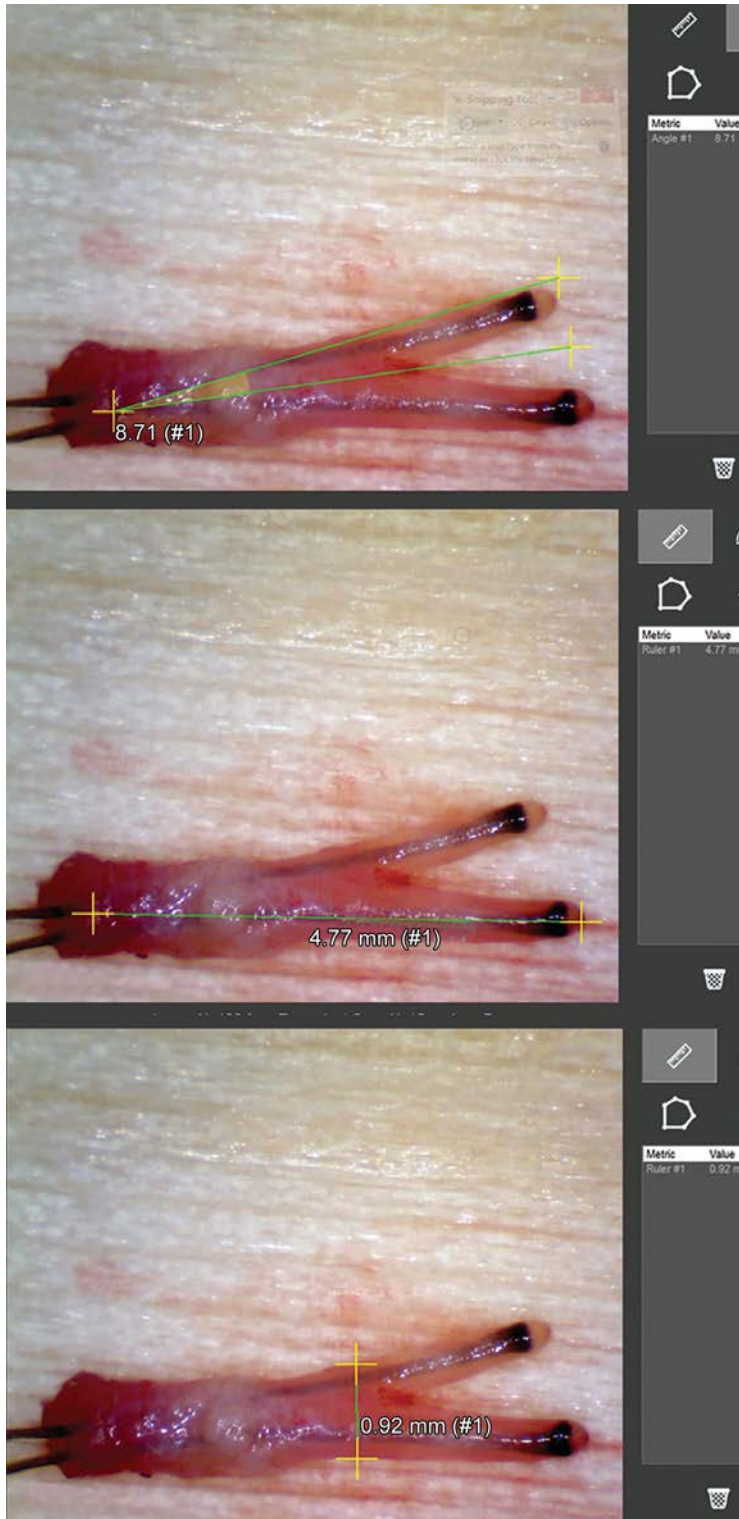
Στην πραγματικότητα, ωστόσο, ο Cole απέδειξε ότι ήταν επιβλαβές για το μόσχευμα να γίνει διείσδυση με ένα αιχμηρό runch σε όλο το μήκος του τριχοθυλακίου. Η αντίληψη του Cole,<sup>7</sup> για μία επιτυχημένη εξαγωγή μωσχευμάτων με διατομή περιορισμένου βάθους, υποστηρίζει ότι δεν χρειάζεται το runch να διεισδύσει στο βάθος της δερματικής θηλής. Επιπλέον, αυτή η μείωση του βάθους της διείσδυσης του runch θα είναι διαφορετική για κάθε ασθενή, κι ακόμα και κάθε τριχοθυλάκιο θα έχει το δικό του ελάχιστο βάθος διείσδυσης για την επιτυχή διατομή του ιστού και εξαγωγή του.

Έχει εξηγηθεί προηγουμένως ότι με την έγχυση ενδοδερμικά 0,9% φυσιολογικού ορού μπορεί να γίνει τροποποίηση της γωνίας έκφυσης των τριχών. Έτσι, η γωνία  $z$  αυξάνει έως  $90^\circ$ , κάνοντας το  $\cot z = \cot 90^\circ = 0$  και  $\sin z = \sin 90^\circ = 1$  (εικ. 3.7 Α και Β). Στη συνέχεια, ο τύπος 3.6 γίνεται  $x=4\tan\theta$ . Έτσι λοιπόν, εάν  $\theta=6^\circ$ , τότε  $x=0,42$  mm, το οποίο σημαίνει ότι ένα runch μεγέθους 0,85 mm είναι η βέλτιστη επιλογή.

Στην καθημερινή μας πράξη, δεν χρειάζεται να κάνουμε όλους αυτούς τους υπολογισμούς, επειδή χρησιμοποιούμε το σύστημα FOLLYSIS<sup>®</sup>, που μας επιτρέπει να μετρήσουμε αυτόματα όλα τα σημαντικά χαρακτηριστικά των τριχοθυλακίων, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως σε αυτό το κεφάλαιο. Για το σκοπό αυτό, στην αρχή κάθε επέμβασης, λαμβάνονται ψηφιακές εικόνες των τριχοθυλακίων με USB κάμερα υψηλής ανάλυσης. Το σχήμα 3.12 απεικονίζει ότι το βάθος  $d$  του τριχοθυλακίου δεν είναι ίσο με το μήκος του. Θεωρούμε ότι το ελάχιστο βάθος διείσδυσης του runch πρέπει να είναι περίπου στο ή κάτω από το μεσαίο τμήμα του στελέχους. Η διατομή πρέπει να συμβεί σε ή ελαφρώς κάτω από αυτό το επίπεδο, έτσι ώστε να κοπεί επιτυχώς ο ανελκτήρας μυς και να εξαχθεί ανέπαφο το μόσχευμα. Κατά συνέπεια, το runch δεν χρειάζεται να τοποθετείται βαθύτερα.

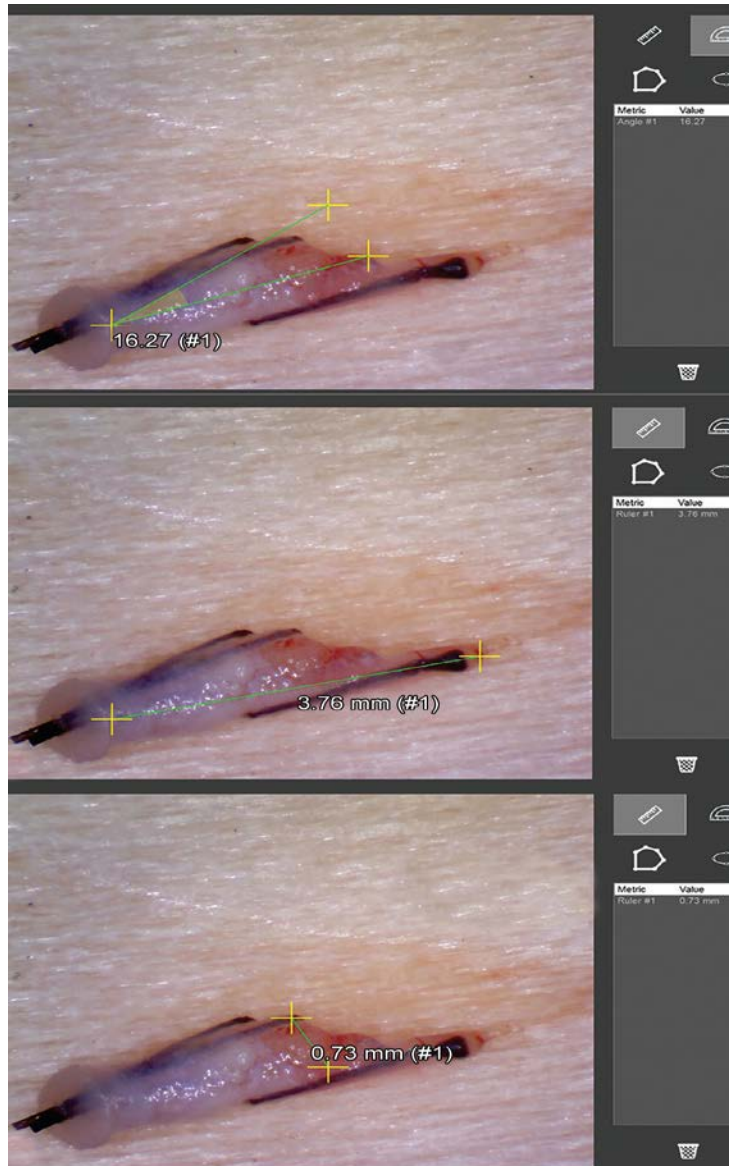
Για παράδειγμα, στην εικόνα 3.13 Α έως C υπάρχει ένα ανέπαφο τριχοθυλάκιο. Το FOLLYSIS<sup>®</sup> διαπίστωσε ότι, μετά την ενδοδερμική έγχυση φυσιολογικού ορού, η απόκλιση των στελεχών των τριχοθυλακίων είναι 0,46 mm και η γωνία  $\theta=8,71^\circ$ , οπότε ένα runch μεγέθους 1,0 mm σε διάμετρο είναι αποτελεσματικό.

Όπως φαίνεται στον τύπο 3.6, με την έγχυση φυσιολογικού ορού μεταβάλλουμε τη γωνία έκφυσης του τριχοθυλακίου καθιστώντας ευκολότερο να το εξαγάγουμε ανέπαφο με τη χρήση ενός μικρότερου μεγέθους runch, το οποίο δημιουργεί μικρότερο τραυματισμό των ιστών.



Εικόνα 3.13 A έως C

Στα σχήματα 3.14 A έως C, τα τριχοθυλάκια είναι σοβαρά τραυματισμένα επειδή δεν είχε γίνει χρήση φυσιολογικού ορού και το σύστημα επεξεργασίας εικόνας κατέγραψε απόκλιση των στελεχών των τριχοθυλακίων  $16,27^{\circ}$  και πλευρική απόκλιση στα 0,73 mm. Αυτό σημαίνει λανθασμένη επιλογή runch.



Εικόνα 3.14 Α έως C: Το FOLLYSIS κατέγραψε απόκλιση των στελεχών των τριχοθυλακίων 16,27° και πλευρική απόκλιση στα 0,73mm (χωρίς χρήση φυσιολογικού ορού).



Εικόνα 3.15: Μοσχεύματα που περιέχουν 5, 6 και 7 στελέχη αντίστοιχα.

## Περίληψη

Το σύστημα επεξεργασίας εικόνας, που περιγράφη, είναι ένα εργαλείο το οποίο βοηθά τον γιατρό στη σωστή επιλογή του μεγέθους του runch, μειώνοντας παράλληλα τα ποσοστά της διατομής των τριχοθυλακίων. Το σύστημα επεξεργασίας εικόνας που έχουμε αναπτύξει μας επιτρέπει να επιβεβαιώσουμε στην πράξη τα θεωρητικά μας μοντέλα και με τα εργαλεία μέτρησης που διαθέτει να υπολογίσουμε εκείνες τις παραμέτρους που έχουν ως αποτέλεσμα να μειωθεί ο τραυματισμός του δέρματος της δότριας ζώνης και κυρίως να βοηθηθεί ο ιατρός ώστε να εκτελέσει μια πιο αποδοτική εξαγωγή (εικ. 3.15).

## Η μηχανική του FUE

Για την καλύτερη κατανόηση του FUE απαιτείται γνώση των δυνάμεων που ασκούνται στο runch, στον ιστό του δέρματος και στο μόσχευμα, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της απομόνωσης του τριχοθυλακίου. Τόσο η μηχανική όσο και η φυσική εμπλέκονται σε αυτή τη διαδικασία.

Επειδή η κίνηση του runch είναι πολυδιάστατη, μπορεί να περιγραφεί απλά σε τρία βήματα:

- Η αρχική επαφή του runch με το δέρμα.
- Η γραμμική κίνηση του runch.
- Η περιστροφική κίνηση του runch.

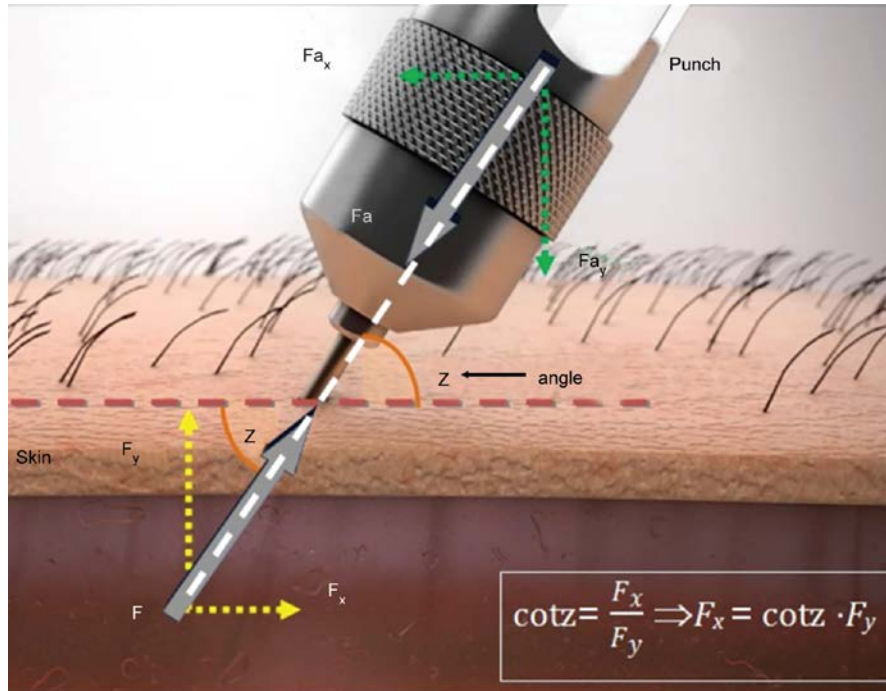
Ας εξετάσουμε κάθε βήμα πιο διεξοδικά.

Όταν ο ιατρός τοποθετεί το άκρο του runch στην επιφάνεια του δέρματος, ο κύλινδρος του runch θα πρέπει να ευθυγραμμιστεί με τον κεντρικό άξονα του τριχοθυλακίου. Η αξονική δύναμη  $F_a$ , που εφαρμόζεται από τον ιατρό στο runch, απεικονίζεται στην εικόνα 3.16. Μπορούμε να υποθέσουμε πως η δύναμη του βάρους του εργαλείου είναι αμελητέα σε σύγκριση με τις άλλες δυνάμεις που ασκούνται στο runch. Σε αυτή την αρχική επαφή, το runch είναι σε ισορροπία. Έτσι,

η δύναμη αντίδρασης  $F$  από την επιφάνεια του δέρματος, που ασκείται στην άκρη του runch, είναι αντίθετη με την  $F_a$ . Αυτή η δύναμη αναλύεται σε συνιστώσες δυνάμεις,  $F_x$  και  $F_y$ .

Εάν η  $F_x$  είναι η οριζόντια δύναμη που απαιτείται για να μην ολισθαίνει το runch, τότε η μέγιστη τριβή που μπορεί να αναπτυχθεί είναι ίση με:

$$T_m = \mu_s \cdot F_y.$$



Εικόνα 3.16 : Οι δυνάμεις που ασκούνται στην άκρη του runch κατά την αρχική του επαφή με την επιφάνεια του δέρματος.

$T_m$  είναι η μέγιστη δύναμη τριβής, η οποία εξαρτάται από την κάθετη συνιστώσα της δύναμης που ασκείται στην επιφάνεια  $F_y$  και  $\mu_s$ , που είναι ο συντελεστής στατικής τριβής.

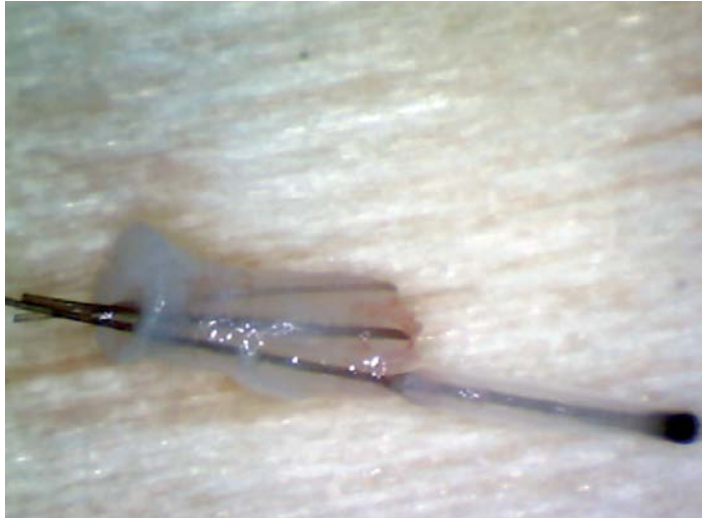
Το περιθώριο ασφαλείας  $A = T_m - F_x$  είναι η διαφορά μεταξύ της μέγιστης δύναμης  $T_m = \mu_s \cdot F_y$ , που μπορεί να αναπτυχθεί από την τριβή, και της πραγματικής δύναμης  $F_x$ .

Αν  $A > 0$ , το runch δεν ολισθαίνει. Αν  $A < 0$ , το runch θα ολισθήσει και θα κόψει το τριχοθυλάκιο.

Ως εκ τούτου, η *οριακή κατάσταση* είναι όταν  $A = 0$ .

Για να μην γλιστρήσει το runch,  $A \geq 0 \Rightarrow T_m \geq F_x \Rightarrow F_y \cot z \leq \mu_s F_y \Rightarrow \cot z \leq \mu_s$  (3.7), όπου  $z$  είναι η γωνία μεταξύ του runch και της επιφάνειας του δέρματος.

Έτσι, η εξίσωση 3.7 αποδεικνύει ότι, μετρώντας το συντελεστή στατικής τριβής  $\mu_s$ , μπορούμε να βρούμε την τιμή της γωνίας  $z$ , όπου το runch δεν ολισθαίνει. Σε αυτό το σημείο, θα θέλαμε να διευκρινίσουμε ότι ο συντελεστής τριβής εκφράζει τη συμπεριφορά τριβής, που ορίζεται ως ο λόγος που λαμβάνεται διαιρώντας την οριζόντια δύναμη που αντιστέκεται στην κίνηση μεταξύ των δύο σωμάτων και την κάθετη δύναμη που πιέζει τα σώματα μεταξύ τους. Αυτή η τιμή εξαρτάται από τις ιδιότητες του δέρματος, το υλικό επαφής του runch και τις ιδιότητές του, τις παραμέτρους της επαφής μεταξύ των υλικών και το περιβάλλον.



Εικόνα 3.17: Αυτή η μικροφωτογραφία δείχνει ένα έκκεντρο κόψιμο στην επιφάνεια του δέρματος εξαιτίας της ολίσθησης του punch.

Παρ' όλο που ο συντελεστής τριβής  $\mu_s$  μεταξύ του δέρματος και ατσαλιού εξαρτάται από την περιοχή του σώματος, την ενυδάτωση και τη θερμοκρασία του δέρματος, μπορούμε να θεωρήσουμε με αρκετή ακρίβεια ότι κυμαίνεται από 0,8 έως 1.

Για παράδειγμα:

$$\text{Αν } \mu_s=0,8, \text{ τότε } \cos z \leq 0,8 \Rightarrow \frac{1}{\tan z} > \frac{1}{0,8} \Rightarrow \tan z \geq 1,25 \Rightarrow z \geq \tan^{-1} 1,25 \Rightarrow z \geq 51^\circ.$$

Αυτό σημαίνει ότι, αν η γωνία έκφυσης είναι οξεία, υπάρχει μια μεγάλη πιθανότητα το punch να ολισθήσει, προκαλώντας τραυματισμό του τριχοθυλακίου (εικ. 3.17).

Με την ενδοδερμική έγχυση φυσιολογικού ορού, η γωνία  $z$  αυξάνεται. Ως εκ τούτου, υπάρχει μικρότερος κίνδυνος ολίσθησης.

Η κίνηση του punch είναι περίπλοκη και μπορεί να αναλυθεί σε δύο απλούστερες κινήσεις: μία γραμμική κίνηση και μια περιστροφική. Κάθε μια είναι ανεξάρτητη από την άλλη (σύμφωνα με την αρχή ανεξαρτησίας των κινήσεων) και συνεπώς θα πρέπει να μελετηθούν ξεχωριστά.

Το punch οδηγείται από μία κύρια δύναμη, για να κόψει την επιδερμίδα και το χόριο. Αυτή η δύναμη είναι ένας συνδυασμός μιας αξονικής δύναμης  $F_a$  στην κατεύθυνση του άξονα του punch και μιας εφαπτομενικής δύναμης  $F_t$ , η οποία περιστρέφει το punch.

Η αξονική δύναμη ασκείται πάνω στο δέρμα σε μία ορισμένη γωνία  $z$  προκαλώντας ένα φορτίο  $\sigma$ :

$$\sigma = \frac{F_a \cdot \sin z}{S} \quad (3.8),$$

όπου  $F_a$  είναι η αξονική δύναμη που εφαρμόζεται και  $S$  είναι η επιφάνεια εγκάρσιας διατομής του τοιχώματος του punch, που δίνεται από τον τύπο  $S = \pi r_1^2 - \pi r_2^2 = \pi (r_1^2 - r_2^2)$ , όπου  $r_1$  = η εξωτερική ακτίνα και  $r_2$  = η εσωτερική ακτίνα του τοιχώματος του punch.

Είναι προφανές ότι, όσο λεπτότερο το runch, τόσο μικρότερη είναι η τιμή  $S$  και τόσο υψηλότερο το  $\sigma$ . Επιπλέον, όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία  $z$ , τόσο υψηλότερο είναι το *stress*  $\sigma$ .

Όταν η  $F_a$  εφαρμόζεται στην επιφάνεια του δέρματος, το συμπιέζει και επιμηκύνει έως ότου η τιμή του  $\sigma$  υπερβεί το όριο διατομής του δέρματος (εικ.3.18).

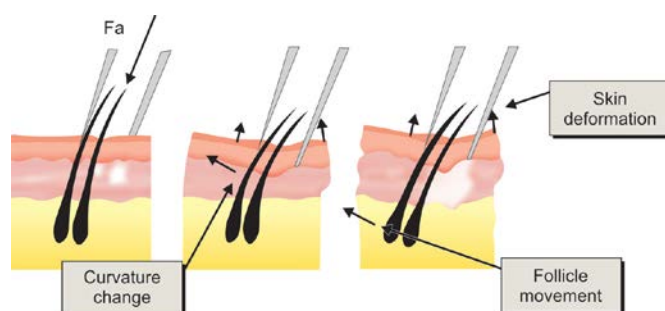
Σύμφωνα με τις τεκμηριωμένες μηχανικές ιδιότητες του ανθρώπινου δέρματος, το όριο διατομής λόγω της συμπίεσης είναι υψηλότερο από εκείνο της έκτασης. Έτσι, δύο πράγματα μπορεί να συμβούν:

Πρώτον, η επιφάνεια του δέρματος υποβάλλεται σε συμπίεση από το runch και παραμορφώνεται. Αυτό οδηγεί σε μια μεταβολή της θέσης των τριχοθυλακίων στον υποδόριο ιστό και στις στιβάδες του δέρματος.

Δεύτερον, η δύναμη της τάσης πάνω στο δέρμα κινεί τα τριχοθυλάκια μακριά από τον αυλό του runch.

Και στις δύο περιπτώσεις το αποτέλεσμα είναι η διατομή των τριχοθυλακίων. Για να αποφευχθεί αυτό το αποτέλεσμα, το runch τοποθετείται κάθετα προς την επιφάνεια του δέρματος, η οποία τώρα συμπιέζεται από μια μεγαλύτερη αξονική δύναμη, φτάνοντας το όριο του μέγιστου φορτίου διατομής πιο γρήγορα. Επιπλέον, εάν χρησιμοποιείται ένα αιχμηρό runch, η επιφάνεια επαφής είναι μικρότερη, οπότε θα γίνει υπέρβαση του ορίου διατομής γρηγορότερα, προκαλώντας ελάχιστη παραμόρφωση στα τριχοθυλάκια και μειώνοντας έτσι το ποσοστό διατομής των τριχοθυλακίων.

Μετά την επιτυχή διατομή της επιδερμίδας και του χορίου του δέρματος, το εγγύς τμήμα του μοσχεύματος καταλήγει στον αυλό του runch. Το περιφερικό τμήμα είναι προσκολλημένο στο υποδόριο, ενώ το ανώτερο τμήμα του τριχοθυλακίου υποβάλλεται σε μία κίνηση συστροφής, λόγω της ροπής  $T=2 F_t \rho$ , όπου  $F_t$  είναι η εφαπτομενική δύναμη που ασκείται στην περιφέρεια του μοσχεύματος στο runch και  $\rho$  είναι η ακτίνα του runch.

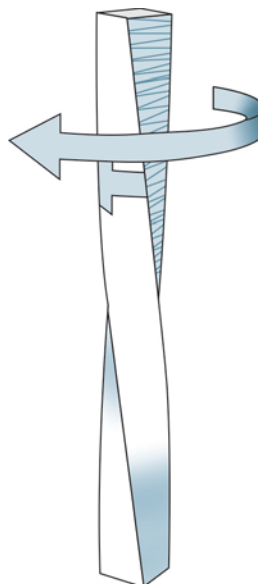


Εικόνα 3.18: Παραμόρφωση του δέρματος και γεωμετρίας του τριχοθυλακίου λόγω άσκησης της δύναμης  $F_a$ .



Η φόρτιση σε ένα μόσχευμα λόγω της στρέψης, κατά την περιστροφική κίνηση του runch, συμβαίνει επειδή το εγγύς τμήμα του μοσχεύματος είναι σε επαφή με την εσωτερική επιφάνεια του runch (εικ. ε.19).

Εικόνα 3.19: Προσομοίωση ενός μοσχεύματος που υποβάλλεται σε φόρτιση λόγω στρέψης.



Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να επισημάνουμε τα εξής:

- Η ανάλυση της στρέψης σε κυκλικά τμήματα μπορεί να εφαρμοστεί σε άκαμπτα τμήματα.
- Το υλικό του τριχοθυλακίου θεωρείται ομογενές.
- Η ροπή είναι σταθερή.
- Τα εγκάρσια επίπεδα παραμένουν παράλληλα μεταξύ τους.
- Για μικρές γωνίες περιστροφής, το μήκος του μοσχεύματος και η ακτίνα του παραμένουν αμετάβλητα.

Η διατμητική τάση  $\tau$  ορίζεται ως:

$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta F_t}{\Delta A} \right| \quad (3.9)$$

(όπου  $\Delta A$  η στοιχειώδης μεταβολή της εγκάρσιας διατομής), και είναι η ένταση μιας δύναμης διάτμησης που δρα παράλληλα προς την εγκάρσια διατομή του runch.

Ονομάζουμε *διάτμηση*  $\vartheta$  την παραμόρφωση που προκαλείται από το διατμητικό στρες.

Επιπλέον, έχει αποδειχθεί ότι:

$$\tau = \rho G \frac{d\vartheta}{dx} \quad (3.10),$$

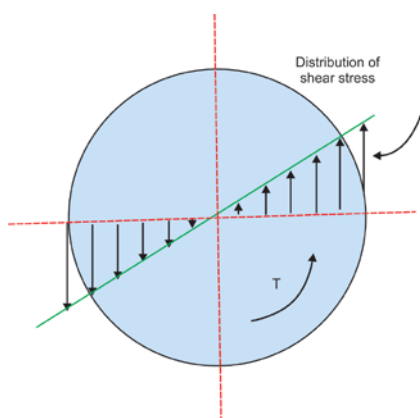
το οποίο συσχετίζει τη διατμητική τάση  $\tau$  γραμμικά με την ακτίνα  $\rho$  μακριά από το κέντρο της διατομής.  $G$  είναι το μέτρο διάτμησης ή μέτρο ακαμψίας, το δε  $\frac{d\vartheta}{dx}$  έχει

οριστεί ως ρυθμός συστροφής, ο οποίος είναι σταθερός σε οποιοδήποτε επίπεδο του μοσχεύματος.

Η τελευταία εξίσωση αντιπροσωπεύει την κατανομή της διατμητικής τάσης στο κυκλικό τμήμα, η οποία είναι υψηλότερη στην εξωτερική επιφάνεια του μοσχεύματος (εικ. 3.20). Ένας άλλος τρόπος έκφρασης των πάρα πάνω είναι με τη χρήση της *Θεωρίας του μηχανισμού της στρέψης*.

$$T = \frac{T}{J} \rho ,$$

όπου το  $J$  είναι η ροπή αδράνειας του μοσχεύματος που υποβάλλεται σε στρέψη.



Εικόνα 3.20: Κατανομή της διατμητικής τάσης στο κυκλικό τμήμα με την εφαρμογή ροπής  $T$ .

Ως εκ τούτου, η μέγιστη διατμητική τάση μπορεί να υπολογιστεί ως  $\tau_{\max} = \frac{T}{J} \rho_0 = \tau_1 =$  διατμητική τάση όπου επέρχεται το κάταγμα του μοσχεύματος, όπου  $\rho_0$  είναι η ακτίνα του punch.

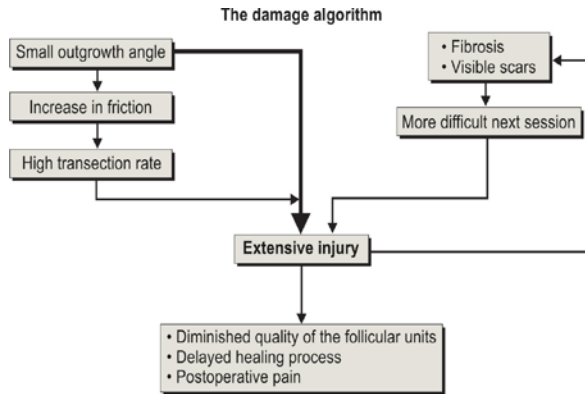
Για δεδομένες τιμές των  $T$  και  $\rho_0$ , μπορούμε να υπολογίσουμε το  $\tau$ . Αν  $\tau < \tau_f$ , τότε το μόσχευμα δεν θα κοπεί. Αλλά  $T = 2 \rho_0 F_t$ , οπότε όσο υψηλότερη είναι η εφαπτομενική δύναμη  $F_t$  τόσο υψηλότερη είναι η ροπή  $T$ . Κατά συνέπεια, η διατμητική τάση, που εφαρμόζεται, υπερβαίνει τη μέγιστη διατμητική τάση του μοσχεύματος, προκαλώντας αναπόφευκτο ακρωτηριασμό ενός αριθμού τριχών του μοσχεύματος (εικ. 3.21).

Τέλος, θα θέλαμε να τονίσουμε πόσο σημαντική είναι η εφαπτομενική δύναμη  $F_t$  για τη διαδικασία της εξαγωγής. Κατά την έναρξη της εξαγωγής, η υψηλή τιμή  $F_t$  είναι ευεργετική για τη διατομή του δέρματος. Ωστόσο, αν αυτή η τιμή της δύναμης εξακολουθεί να είναι αυξημένη, τα στελέχη τριχών του τριχοθυλακίου μπορεί να διατμηθούν.



Εικόνα 3.21 : Ένα κομμένο μόσχευμα εξαιτίας της μεγάλης διατμητικής τάσης.

Εικόνα 3.22: Ο αλγόριθμος τραυματισμού δείχνει πώς μια μικρή γωνία έκφυσης επηρεάζει δραματικά το τραύμα στη δότρια ζώνη.



## Συζήτηση

Συνοψίζοντας, η επεξεργασία εικόνας στην τεχνική FUE είναι μέγιστης σημασίας καθώς παρέχει τη δυνατότητα να επιβεβαιώσουμε με ακρίβεια τις θεωρητικές προβλέψεις μας και να τις εφαρμόσουμε στην πράξη.

Οι περισσότεροι FUE χειρουργοί μπορεί να αποφεύγουν την πολύπλοκη φύση της Ιατρικής Φυσικής. Για την καλύτερη κατανόηση των μαθηματικών μοντέλων, περιγράφεται ο πάρα κάτω αλγόριθμος βλάβης. Ο αλγόριθμος αυτός περιγράφει πώς οι γωνίες εξόδου των τριχών μπορούν, δυνητικά, να προκαλέσουν μία σειρά καταστάσεων, οδηγώντας σε μειωμένη ποιότητα μοσχευμάτων, καθυστέρηση της διαδικασίας επούλωσης και μετεγχειρητικό πόνο (εικ. 3.22).

Σύμφωνα με τον αλγόριθμο τραυματισμού, μια μικρότερη γωνία εξόδου των τριχών δυνητικά αυξάνει τον τραυματισμό στη δότρια ζώνη επειδή το punch που τοποθετείται σε μια πιο οξεία γωνία δημιουργεί ένα ελλειπτικό τραύμα, το οποίο είναι σημαντικά μεγαλύτερο σε εμβαδόν επιφάνειας από ό,τι εάν χρησιμοποιούταν ένα πιο κάθετο punch. Καθώς το punch έρχεται σε επαφή με το δέρμα και διατέμνει μέσω αυτού, η αυξημένη δύναμη της τριβής προκαλεί μετατόπιση των τριχοθυλακίων. Η μετατόπιση ή κίνηση των τριχοθυλακίων δυνητικά αυξάνει το ποσοστό της διατομής στα χέρια ενός αρχάριου ή λιγότερο έμπειρου χειρουργού. Ένα αυξημένο ποσοστό διατομής θα συμβάλει στην αύξηση του τραύματος στη δότρια ζώνη. Καθώς αυξάνονται οι προσπάθειες για τη συλλογή του επιθυμητού αριθμού μοσχευμάτων, αυξάνεται και η πιθανότητα σχηματισμού ουλής ή ίνωσης από την επούλωση του τραύματος. Το πιθανότερο επακόλουθο του εκτεταμένου τραυματισμού του δέρματος και της υπερβολικής ίνωσης είναι μια δότρια ζώνη αδύνατον να χρησιμοποιηθεί για μελλοντικές επεμβάσεις.

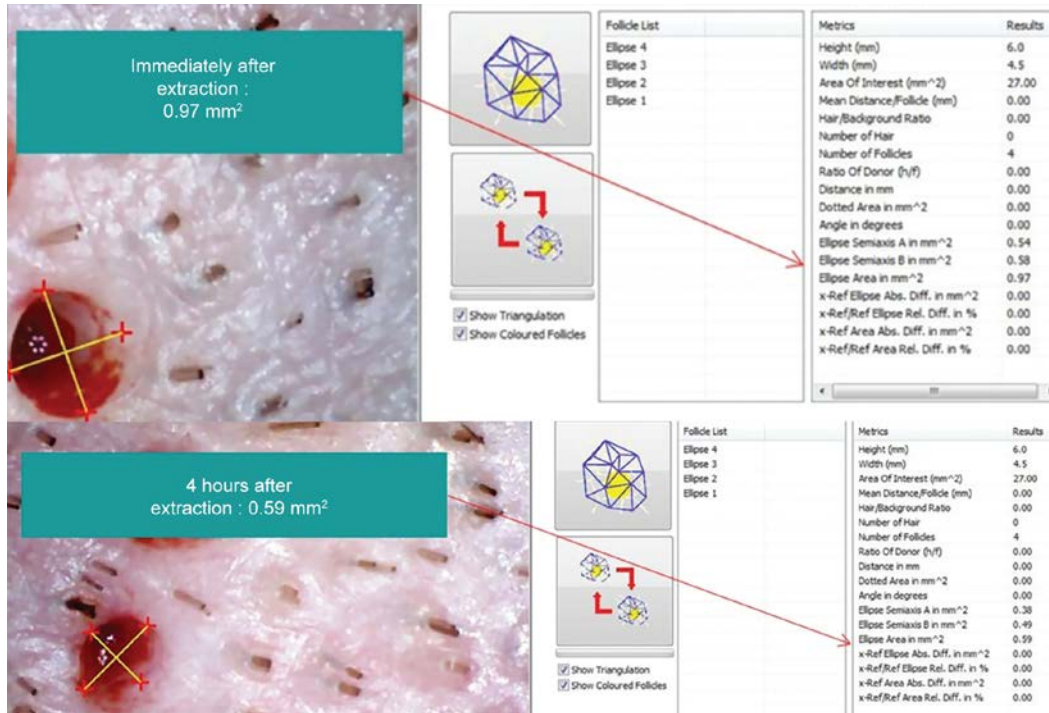
Επιπλέον, η έγχυση 0,9% φυσιολογικού ορού κάνει τη γωνία έκφυσης των τριχών πιο προβλέψιμη (εικ. 3.7) και τη σπαργή του δέρματος πιο σταθερή. Η εικόνα 3.22 δείχνει μια μικρή γωνία που αυξάνει το ποσοστό διατομής. Μια μεγαλύτερη γωνία τείνει να κάνει τη διαδικασία της εξαγωγής ευκολότερη και μειώνει το ποσοστό διατομής, εξασφαλίζοντας έτσι ότι εξαγονται πιο πολλά ανέπαφα μοσχεύματα, όπως φαίνεται στον τύπο 4.6. Προτείνουμε την έγχυση 0,2-

0,3 ml φυσιολογικού ορού ανά τετραγωνικό εκατοστό της δότριας ζώνης. Η έγχυση πρέπει να γίνεται ενδοδερμικά σε ένα μικρό τμήμα (περίπου 8 cm<sup>2</sup>) της δότριας περιοχής για να ξεκινήσει η εξαγωγή. Ανάλογα με το πόσο γρήγορα ο φυσιολογικός ορός διαχέεται στους ιστούς, η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται είτε στην ίδια περιοχή ή σε νέο τμήμα της δότριας ζώνης μέχρι να εξαχθεί ο επιθυμητός αριθμός μοσχευμάτων (εικ. 3.23).



Εικόνες 3.23 Α έως C: Με τη χρήση μιας σύριγγας 1 ml και βελόνας 30G, εγχύεται φυσιολογικός ορός στη δότρια ζώνη για να ξεκινήσει η εξαγωγή

Η έγχυση φυσιολογικού ορού κάνει το δέρμα να τεντώνεται. Στη συνέχεια, όταν απορροφάται ή διαχέεται μακριά από τους ιστούς, το δέρμα επιστρέφει στη φυσιολογική του κατάσταση. Έτσι, το εμβαδόν και οι διαστάσεις της επιφάνειας του τραύματος μειώνονται ακόμα περισσότερο (εικ. 3.24).



Εικόνα 3.24: Το FOLLYSIS<sup>®</sup> υπολόγισε μια 39,18% μείωση της επιφάνειας του τραύματος 4 ώρες μετά την εξαγωγή.

Αυτό το σημαντικό γεγονός έχει ως αποτέλεσμα την επιτάχυνση της διαδικασίας επούλωσης, τη μείωση της ουλής και την ελαχιστοποίηση οποιασδήποτε απώλειας αίματος. Το θέμα αυτό θα αναλυθεί με λεπτομέρεια σε επόμενο κεφάλαιο. Εκεί θα παρουσιασθούν τα μαθηματικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν για την επίλυση του προβλήματος και η αξία του FOLLYSIS<sup>®</sup>, στην επιβεβαίωση του συλλογισμού και την ποσοτικοποίηση του ποσοστού μείωσης του τραυματισμού της δότριας ζώνης και κατά συνέπεια της βελτιστοποίησης της τεχνικής FUE.

# 4

## FOLLYSIS<sup>®</sup>

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε αναλυτικά το σχεδιασμό και λειτουργία του λογισμικού FOLLYSIS<sup>®</sup>, καθώς και τη χρησιμότητα των υπολογιστικών εργαλείων, τα οποία διαθέτει, στη διάγνωση, έρευνα και θεραπεία της τριχόπτωσης.

Παράλληλα, θα τονίσουμε τη συμβολή του στο treatment planning του ασθενούς, που υποβάλλεται σε μεταμόσχευση είτε με την τεχνική FUE είτε με την strip. Θα εξηγηθεί επίσης πώς το λογισμικό ποσοτικοποιεί το πρόβλημα της τριχόπτωσης και επιτρέπει τη λεπτομερή και ακριβή καταγραφή της εξέλιξής της.

Επίσης, θα γίνει σαφές πώς με τη χρήση του FOLLYSIS<sup>®</sup> διευκολύνεται ο ιατρός να αξιολογήσει με ακρίβεια την αποτελεσματικότητα της εκάστοτε συντηρητικής ή χειρουργικής θεραπείας που εφαρμόζει, αφού η ποσοτικοποίηση του αποτελέσματος επιτρέπει την αντικειμενική εκτίμηση του προβλήματος, σε σχέση με την οπτική παρατήρηση που εφαρμόζεται μέχρι τώρα.

Τέλος, θα αναδείξουμε τη συμβολή του FOLLYSIS<sup>®</sup> στην έρευνα και τη βελτιστοποίηση της τεχνικής FUE.

## Δομή και σχεδιασμός του FOLLYSIS<sup>®</sup>

### Βάση δεδομένων

Είναι προφανής η αναγκαιότητα για κάθε ιατρό και κλινική, που ασχολείται με την αντιμετώπιση της τριχόπτωσης, ενός εξελιγμένου συστήματος ψηφιακής αποθήκευσης, αρχειοθέτησης, ανεύρεσης και επεξεργασίας δεδομένων που αφορούν τους ασθενείς.

Αυτές οι πληροφορίες έχουν ένα σχετικά μεγάλο όγκο, ιδιαίτερα σε μεγάλα κέντρα και κλινικές με πολλούς ασθενείς. Η κατάλληλη ταξινόμηση των πληροφοριών και η άμεση πρόσβαση σε αυτές διευκολύνει σημαντικά το έργο του θεράποντος ιατρού και αποτελεί σημαντικό βοήθημα στην προώθηση της έρευνάς του.

Η ανάγκη συχνών επισκέψεων του ασθενούς, που υποβάλλεται σε κάποιας μορφής θεραπεία τριχόπτωσης, οδηγεί στη συσσώρευση δεδομένων, κυρίως σε μορφή φωτογραφιών. Οι φωτογραφίες αυτές του τριχωτού μπορεί να είναι μάκρο ή μικροφωτογραφίες, και αποτελούν θεμέλιο λίθο της αξιολόγησης της πορείας του ασθενούς. Είναι προφανές πως η σωστή και αποτελεσματική βάση δεδομένων αποθηκεύει όλες αυτές τις φωτογραφίες ενώ παράλληλα το σύστημα FOLLYSIS<sup>®</sup> διευκολύνει την επεξεργασία τους, ποσοτικοποιώντας το αποτέλεσμα.

Έγινε προσπάθεια να διαμορφωθεί ένα λεπτομερές ψηφιακό πρακτικό χειρουργείου, το οποίο περιλαμβάνει όλες εκείνες τις πληροφορίες που πρέπει να καταγράφονται σε επεμβάσεις αυτού του τύπου, ώστε να διευκολύνουν την αποτελεσματικότερη και ακριβέστερη εκτίμηση του μετεγχειρητικού follow up.

Το FOLLYSIS<sup>®</sup> διαθέτει μια καλά οργανωμένη βάση δεδομένων, η οποία στην κλινική πράξη συμβάλλει σημαντικά στην ακριβέστερη διάγνωση και αποτελεσματικότερη θεραπεία του ασθενούς.

Δυστυχώς, τα περισσότερα κέντρα μεταμόσχευσης τριχοθυλακίων δεν διαθέτουν ολοκληρωμένα συστήματα βάσης δεδομένων για όλες τις πληροφορίες που σχετίζονται με τον ασθενή τους. Αρκεί να αναφέρουμε πως τα πρακτικά χειρουργείου είναι αρκετές φορές ελλιπή και τηρούνται μόνο σε έντυπη μορφή, ενώ τα follow ups των ασθενών δεν αποτελούν παρά υποκειμενικές εκτιμήσεις του θεράποντος ιατρού.

Στο FOLLYSIS<sup>®</sup> έγινε προσπάθεια να αποθηκεύονται και να ταξινομούνται με τρόπο πρακτικό όλες οι πληροφορίες που σχετίζονται με τον ασθενή, ξεκινώντας από τα δημογραφικά στοιχεία και το ιστορικό του μέχρι το πρακτικό χειρουργείου και τις μετρήσεις ιδιαίτερα σημαντικών χαρακτηριστικών του τριχωτού.

Η βάση δεδομένων επιτρέπει να ανασύρονται αυτές οι πληροφορίες ανάλογα με το ερώτημα του ιατρού, ώστε να διευκολυνθεί το κλινικό ή ερευνητικό του έργο. Αξίζει να τονίσουμε πως ελήφθη πρόνοια, στη βάση δεδομένων, να επιτρέπεται η στατιστική επεξεργασία και γραφική αναπαράσταση προ και μετεγχειρητικών χαρακτηριστικών της δότριας και λήπτριας ζώνης για κάθε ασθενή συν τω χρόνω.

### **Δομή και σχεδιασμός**

Η βάση δεδομένων είναι μια σχεσιακή βάση. Η γλώσσα των δεδομένων είναι η SQL, και ως σύστημα διαχείρισης επιλέχθηκε το PostgreSQL. Το λογισμικό έχει κωδικοποιηθεί σε γλώσσα C<sup>++</sup>. Η δομή της βάσης δεδομένων του FOLLYSIS είναι δενδρική, με 3 βασικά επίπεδα, από πάνω προς τα κάτω. Το ανώτερο επίπεδο περιέχει πληροφορίες βασικές, που λαμβάνονται στην αρχική επαφή του ιατρού με τον ασθενή καθώς και τα αποτελέσματα της εξέτασης του τριχωτού (εικ. 4.1).

Πιο αναλυτικά, στο επίπεδο αυτό και σε ειδικά «κουτιά διαλόγου» ο χρήστης καταγράφει:

- Όνομα, ηλικία, φύλο, φυλή.
- Στοιχεία επικοινωνίας.
- Τύπο και χρώμα μαλλιών.
- Όνομα ιατρού – κέντρου.
- Σχόλια ιατρού.

Contact Information		Appearance Information	
Name	Follow-up	Gender	Male
Surname	Case	Ethnicity	Caucasian
Address	Amaliegade 42	Date of birth	1900-01-01
Phone Number	0045225678	Type of hair	Straight
E-mail	gddanis@gmail.com	Color of hair	Brown
Surgeon Name	Folysis Admin		
Clinic	Denmark		
<b>Comments</b> adrogenetic alopecia ,			

Εικόνα 4.1: Ψηφιακή καρτέλα του ασθενούς.

Η φωτογραφία του ασθενούς αποθηκεύεται σε συγκεκριμένο πεδίο για να διευκολύνεται η αναγνώρισή του. Η αποθήκευση επιτυγχάνεται από τον χρήστη πατώντας το αντίστοιχο πεδίο. Η φόρτωση της φωτογραφίας αυτής (αλλά και άλλων σε άλλα σημεία) μπορεί να γίνει από φάκελο ή από κάμερα του υπολογιστή ή του tablet. Όταν όλες οι πληροφορίες έχουν καταχωρηθεί στο φύλλο αυτό του ασθενούς, τότε ο χρήστης πατώντας «add» ενημερώνει την database και οι πληροφορίες αποθηκεύονται. Μετά την επιτυχή αυτή διαδικασία, η καταγραφή του ασθενούς μπορεί να φανεί στην αριστερή πλευρά της βάσης δεδομένων ως «νέος ασθενής».

Κάθε ασθενής, που καταχωρείται στη βάση, συνοδεύεται από έναν μοναδικό αριθμό ταυτοποίησης, που παράγεται αυτόματα από το σύστημα, με καταγραφή επίσης του χρόνου που έγινε η διαδικασία. Ο χρήστης έχει λοιπόν τη δυνατότητα να ανακτήσει τις πληροφορίες του ασθενούς όχι μόνο με το όνομα αλλά και με τη χρήση του συγκεκριμένου αριθμού.

Το δεύτερο επίπεδο της βάσης δεδομένων περιλαμβάνει την καταχώρηση και καταγραφή πληροφοριών σχετικών με τη χειρουργική επέμβαση. Το επίπεδο αυτό υποδιαιρείται σε δύο υποεπίπεδα, που περιγράφονται ακολούθως.



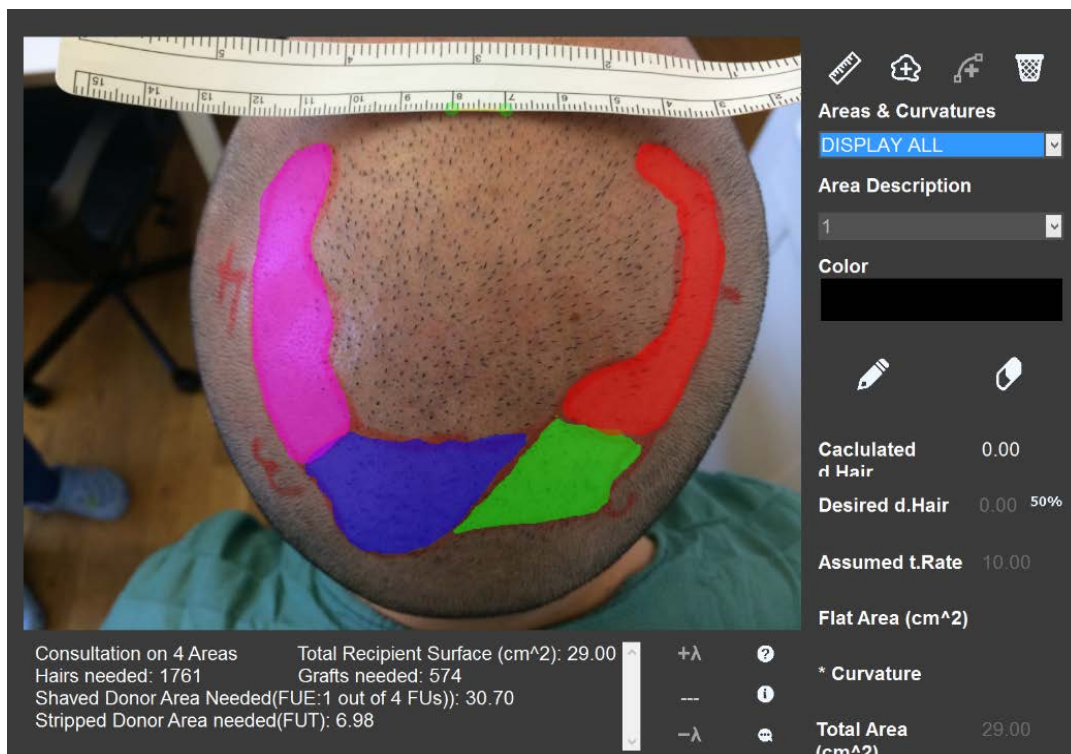
# Χειρουργική θεραπεία

## A' Treatment Planning

Με άλλα λόγια, ο σχεδιασμός της επέμβασης. Η διαδικασία αυτή στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στην επεξεργασία εικόνας, που θα περιγραφεί αναλυτικά και στη συνέχεια. Επιπλέον, μαθηματικοί αλγόριθμοι έχουν ενσωματωθεί στο πρόγραμμα, ώστε να υπολογίζονται και να καταγράφονται μεγέθη σημαντικά για τη μεταμόσχευση.

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα σε αυτό το στάδιο να εισαγάγει σειρά μάκρο και μικροφωτογραφιών, που αφορούν στη δότρια ή πάσχουσα περιοχή.

Αρχικά εισάγονται μακροφωτογραφίες της πάσχουσας περιοχής. Στο περιβάλλον εργασίας του υπολογιστή ή του tablet, εκμεταλλευόμενος τα πλεονεκτήματα της «οθόνης αφής», ο ιατρός περικλείει όλη την πάσχουσα περιοχή αλλά ταυτόχρονα του παρέχεται η δυνατότητα να υποδιαιρέσει τη λήπτρια περιοχή σε μικρότερες υποπεριοχές με τη βοήθεια του κέρσορα. Το πρόγραμμα αποδίδει σε κάθε υποπεριοχή διαφορετικό χρώμα (εικ. 4.2).



Εικόνα 4.2: Υποδιάρθρωση της πάσχουσας περιοχής σε υποπεριοχές.

Το εμβαδόν της κάθε περιοχής υπολογίζεται αυτόματα. Ένας συντελεστής διόρθωσης μπορεί να εισαχθεί από τον χρήστη ή να υπολογιστεί από τις μικροφωτογραφίες, εφόσον πρόκειται για περιοχές με μεγάλη καμπυλότητα.

Από τις μικροφωτογραφίες της δότριας και λήπτριας περιοχής υπολογίζεται η μέση πυκνότητα, όπως και οι πυκνότητες των υποπεριοχών. Οι πυκνότητες αυτές υπολογίζονται σε αριθμό τριχών/cm<sup>2</sup> και αριθμό τριχοθυλακίων/cm<sup>2</sup>.

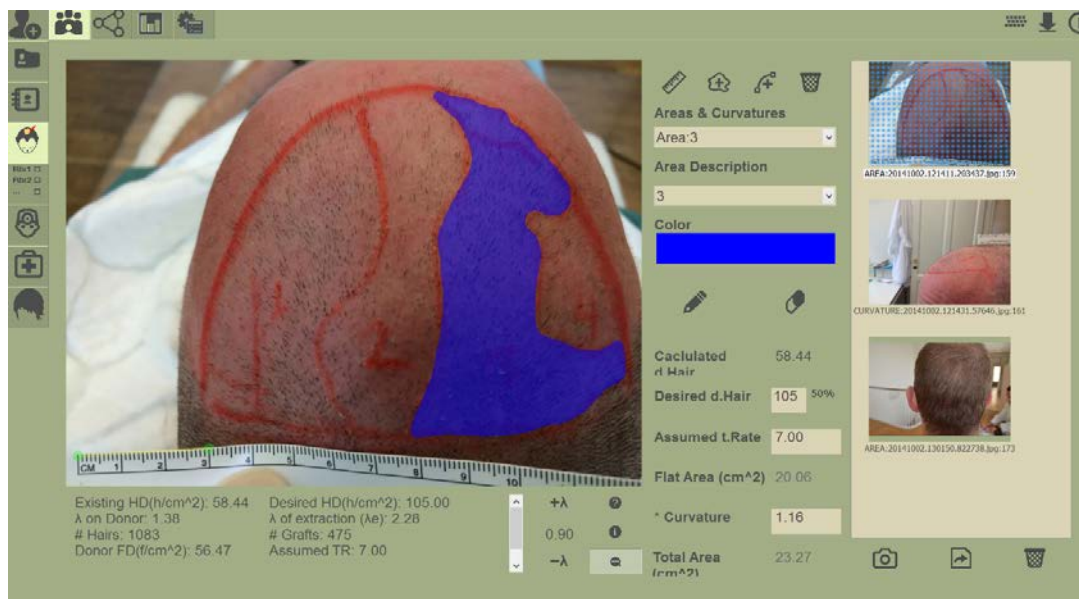
Το FOLLYSIS<sup>®</sup>, επίσης, προσδιορίζει το μέσο λόγο λ για κάθε περιοχή, ενώ για δεδομένο transection rate υπολογίζει αυτόματα και προτείνει το συνολικό αριθμό τριχών και μοσχευμάτων που πρέπει να τοποθετηθούν στην πάσχουσα περιοχή ώστε να αυξηθεί η πυκνότητα στο επιθυμητό όριο. Ταυτόχρονα, καθοδηγεί τον ιατρό ώστε να προβεί στη βέλτιστη κατανομή μοσχευμάτων προκειμένου να επιτευχθεί ομοιόμορφη πυκνότητα εφόσον αυτό κρίνεται σκόπιμο.

Συνάμα, το πρόγραμμα, με βάση το λ εξαγωγής, δύναται να προτείνει αριθμό τριχών και τριχοθυλακίων, που χρειάζονται ώστε να επιτευχθεί το άριστο αισθητικό αποτέλεσμα. Η δυνατότητα αυτή στηρίζεται στην αρχή πως η αραίωση του τριχωτού γίνεται αισθητή όταν η πυκνότητα της πάσχουσας περιοχής έχει μειωθεί περισσότερο από το 50% της υγιούς δότριας ζώνης ή ζώνης σταθερής τριχοφυΐας. Βεβαίως, ανάλογα με την κρίση του ιατρού, η επιθυμητή αύξηση της πυκνότητας μπορεί να διαφέρει, οπότε το FOLLYSIS<sup>®</sup> υπολογίζει αναλόγως.

Αξίζει να τονίσουμε ότι το πρόγραμμα υπολογίζει και προτείνει το εμβαδόν της δότριας περιοχής που χρειάζεται να ξυριστεί, αν πρόκειται για FUE, ή το μέγεθος του κρημνού που πρέπει να αφαιρεθεί, αν πρόκειται για strip.

Στο πλάνο θεραπείας του ασθενούς είναι σημαντικό να προστατεύεται η δότρια ζώνη από αλόγιστη και υπερβολική εξαγωγή, που μπορεί να οδηγήσει σε εμφανή αραίωση της δότριας ζώνης. Έτσι, το FOLLYSIS<sup>®</sup> ενημερώνει τον ιατρό όταν υπάρχει κίνδυνος υποβάθμισης της δότριας περιοχής πέραν του 50% της αρχικής υγιούς τιμής, σε οποιαδήποτε μελλοντική συνεδρία.

Στο παράδειγμα της φωτογραφίας που ακολουθεί (εικ. 4.3) ο ασθενής έχει εμφανώς ανομοιογενή αραίωση στην πρόσθια και μέση περιοχή της κεφαλής.

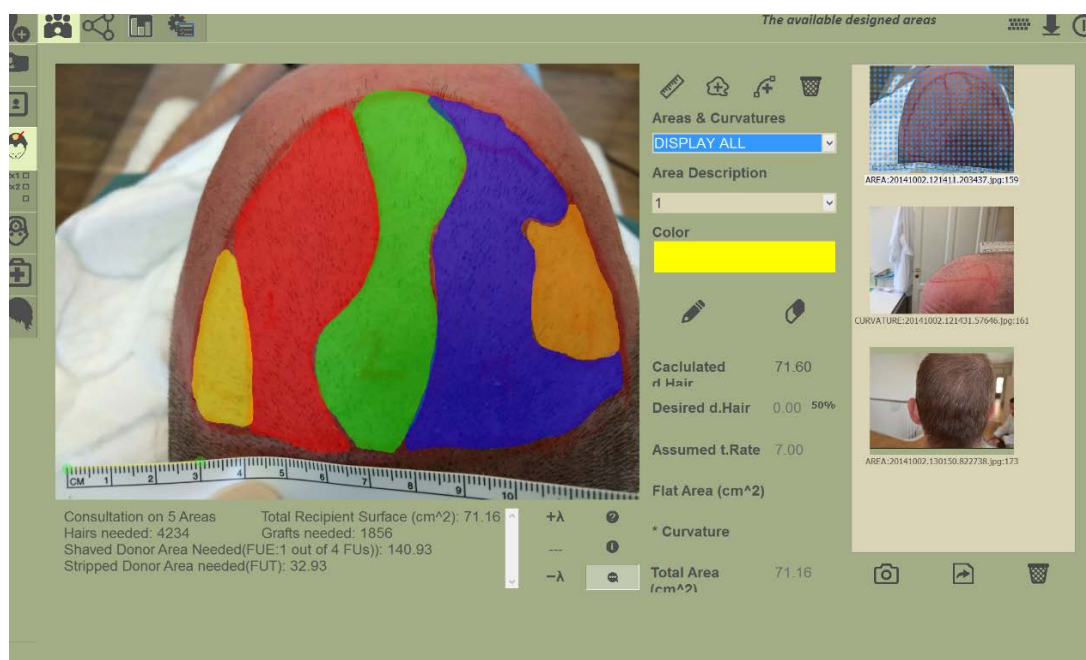


Εικόνα 4.3

Η πάσχουσα περιοχή έχει προσδιορισθεί αρχικά από τον ιατρό με δερμογράφο και έχει διαιρεθεί σε πέντε υποπεριοχές, που μακροσκοπικά παρουσιάζουν μια σχετική ομοιογένεια στην πυκνότητά τους.

Η δυσκολία της περίπτωσης αυτής συνίσταται στην αδυναμία του χειρουργού να προσδιορίσει τον ακριβή αριθμό τριχοθυλακίων και τη βέλτιστη κατανομή τους. Η υποδιαίρεση σε μικρότερες, περισσότερο ομοιογενείς περιοχές, διευκολύνει τη διαδικασία, αφού με τη βοήθεια του FOLLYSIS<sup>®</sup> οι υπολογισμοί αυτοί είναι ακριβείς και γίνονται ταχύτατα.

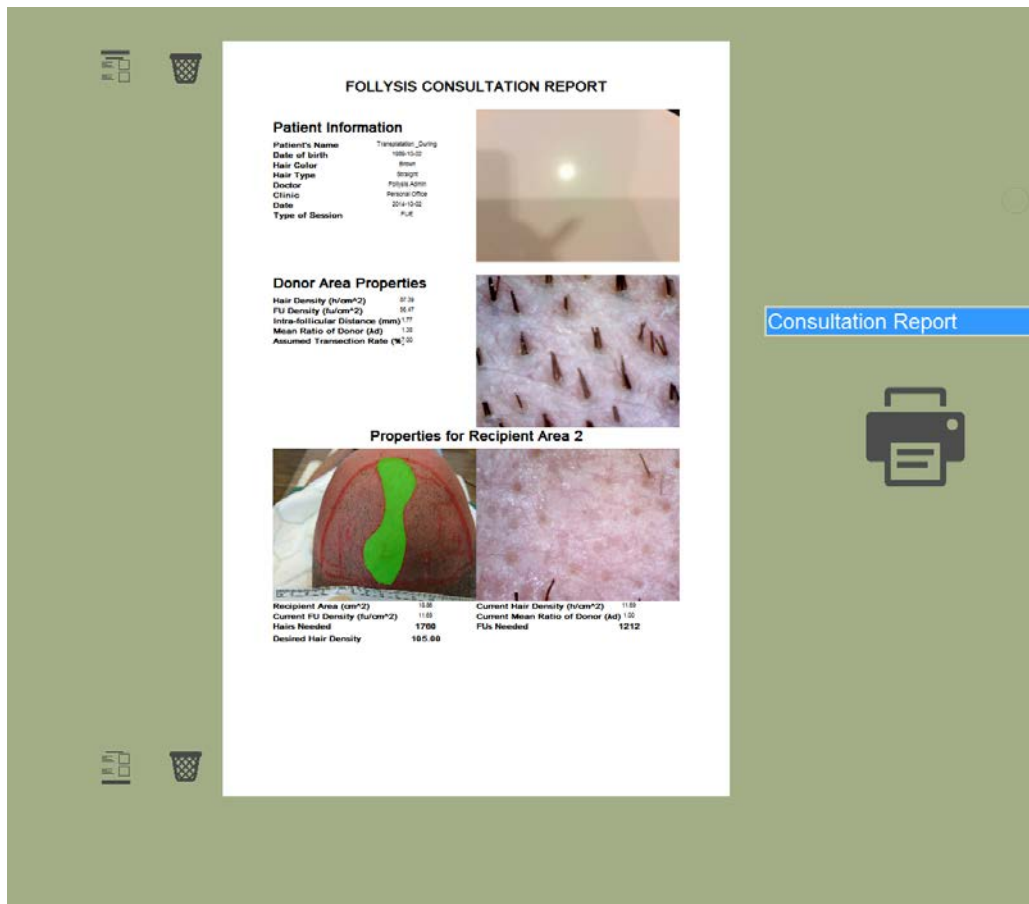
Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.4, για λόγο εξαγωγής  $\lambda=2,28$  και transection rate =7%, το FOLLYSIS<sup>®</sup> υπολόγισε πως 1.856 μοσχεύματα ή 4.234 τρίχες πρέπει να τοποθετηθούν στην πάσχουσα περιοχή.



Εικόνα 4.4: Βέλτιστη κατανομή μοσχευμάτων.

Θα πρέπει να αναφέρουμε πως όλοι οι υπολογισμοί και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ή προήλθαν από τη διαδικασία του treatment planning αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων και είναι διαθέσιμα προς χρήση του ιατρού. Το σύνολο των υπολογισμών μπορούν να τυπωθούν και να δοθούν και στον ίδιο τον ασθενή (εικ.4.5).

Η διαδικασία της εκτίμησης του προβλήματος του ασθενούς και ο σχεδιασμός της χειρουργικής θεραπείας μπορεί να λάβει χώρα στην πρώτη συνάντηση του ασθενούς με τον ιατρό ή να πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια της επέμβασης.



Εικόνα 4.5: Αντίγραφο εξέτασης.

## Β' Χειρουργικό έντυπο

Το πρακτικό χειρουργείου αποτελεί αναπόσπαστο και σημαντικό έντυπο του φακέλου του ασθενούς, που υποβάλλεται σε μεταμόσχευση τριχοθυλακίων, διότι έχει ιατρική και νομική αξία. Όσο πιο λεπτομερές είναι, τόσο περισσότερες πληροφορίες περιέχει, που μπορούν να αξιοποιηθούν σε επόμενη επέμβαση του ασθενούς ή σε αναδρομικές μελέτες.

Το χειρουργικό έντυπο στο FOLLYSIS<sup>®</sup> σχεδιάστηκε με σκοπό να περιγράψει αναλυτικά και διεξοδικά τη διαδικασία της επέμβασης. Πιο συγκεκριμένα, πληροφορίες, που προέρχονται από το treatment planning, καταχωρούνται αυτόματα στα αντίστοιχα πεδία. Αυτό περιλαμβάνει τα εμβαδά των περιοχών και των υποπεριοχών, τις μέσες πυκνότητες των τριχών και τριχοθυλακίων για κάθε περιοχή και τις φωτογραφίες που αντιστοιχούν σε αυτές.

Ο χρήστης εισαγάγει σε συγκεκριμένα πεδία λεπτομέρειες που αφορούν τον αριθμό των τριχών/τριχοθυλακίων για κάθε περιοχή ενώ το σύστημα υπολογίζει την αντίστοιχη αύξηση της πυκνότητας που επιτεύχθηκε χειρουργικά, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.6.



Εικόνα 4.6: Λεπτομερής καταγραφή της κατανομής των μοσχευμάτων στο χειρουργικό έντυπο.

Σε συγκεκριμένο πεδίο ο ιατρός συμπληρώνει πληροφορίες σχετικά με την επέμβαση, όπως η μέθοδος (FUE / strip), η διάρκεια της, το transection rate, η κατάσταση του δέρματος, ο λόγος της εξαγωγής, η βαθμίδα της αλωπεκίας και ο αριθμός των τριχών και τριχοθυλακίων. Ο βαθμός δυσκολίας της εξαγωγής και τοποθέτησης επίσης καταχωρείται, με επιλογή των αντίστοιχων κουτιών διαλόγου (εικ.4.7).

Transplant Information			
Method	FUE	FUs Used	2086
Date	2014-10-02	Hairs Used	4161
Duration (mins)	185	Mean Ratio of Donor Area	0.55
Transection rate (%)	10.00	Mean Ratio of Recipient Area	1.25
Scalp Condition	Healthy	Total Recipient Area (cm <sup>2</sup> )	71.16
Extraction Characterization	Easy	Procedure Ratio	1.99
Placement Characterization	Medium	Partial Ratio	3.62
		Baldness Type	
Comments			

Εικόνα 4.7

Πληροφορίες που αφορούν στα ζωτικά σημεία του ασθενούς, τη φαρμακευτική αγωγή που χορηγήθηκε τόσο διεγχειρητικά όσο και μετεγχειρητικά, το είδος των εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν και οι επιπλοκές που παρουσιάστηκαν, καταχωρούνται στη βάση δεδομένων του FOLLYSIS<sup>®</sup> όπως φαίνεται στην εικόνα 4.8.

The screenshot displays a software interface with the following sections:

- Surgical Information:**
  - Extraction Method: Automatic
  - Extraction Punch Type: 0.95
  - Extraction Punch Info: (empty field)
  - Placement Punch Type: 1
  - Placement Punch Info: (empty field)
  - Needle Type: 20G
  - Extraction Bleeding: Yes
  - Placement Bleeding: No
- Medication Information:**
  - Medication Administered: Minoxidil
  - Anesthesia Used: Xylocaine
  - Anesthesia Dose: 250mg lidocaine
  - Antiswelling Administered: Corticosteroids
  - Antibiotics Administered: Zinadol 500
- Patient's Vital Signs:**
  - Blood Pressure (mmHg): 12/8
  - Pulses/min: 68
  - SPO2(%): 98
- Comments:**
  - total time of the procedure 6.5hours .no complications

Εικόνα 4.8

Τέλος έχει ληφθεί πρόνοια να μπορεί να εκτυπώνεται το χειρουργικό έντυπο ανάλογα με την επιθυμία του ιατρού ή του ασθενούς (εικ. 4.9).

The screenshot shows a printed surgical form titled "FOLLYSIS SURGICAL FORM" with the following sections:

- Contact Information:**
  - Patient's Name: Transplant\_2019
  - Address: 2019-10-10
  - E-mail: info@follis.com
  - Date of birth: 1990-10-10
  - Blood Pressure (mmHg): 12/8
  - Pulses: 68
  - SPO2(%): 98
  - Date: 2019-10-10
  - Duration: 180 min
  - Number of previous sessions: 2
  - Sleep condition: healthy
  - Type of Session: F-U
  - Extraction Characterization: 5th
  - Placement Characterization: 1st
  - Extraction Bleeding: Yes
  - Placement Bleeding: No
- Donor Area Properties (Average):**
  - Hair Density: 87.38
  - FU Density: 36.47
  - Mean Ratio of Donor: 1.28
  - Type of hair: 89g/m
  - Hair Color: Brown
  - Transfection Rate: 10.30%
- Recipient Area Properties (Average):**
  - Hair Density: 25.76
  - FU Density: 30.39
  - Mean Ratio of Donor: 1.28
- Medications:**
  - Medication Used: Minoxidil
  - Antiswelling Used: Corticosteroids
  - Antibiotics Used: Zinadol 500
  - Anesthesia Used: Xylocaine
  - Anesthesia Dose: 250mg lidocaine
- Transplant Comments:**
  - Surgical Comments: total time of the procedure 6.5hours .no complications

On the right side of the interface, there is a "Surgical Report" dropdown menu and a printer icon.

Εικόνα 4.9: Έντυπη μορφή πρακτικού χειρουργείου.

## Η επεξεργασία εικόνας με το FOLLYSIS<sup>®</sup>

Η χρήση της εικόνας στην κλινική αντιμετώπιση της τριχόπτωσης έχει τεράστια σημασία. Αναμφισβήτητα αποτελεί το πιο σημαντικό μέσο καταγραφής και παρακολούθησης της αραίωσης του ασθενούς και αξιολόγησης της έκβασης της μεταμόσχευσης. Πρέπει, όμως, να επισημάνουμε ότι οι φωτογραφίες προσφέρουν μέχρι τώρα μια ποιοτική εκτίμηση του προβλήματος του τριχωτού και δεν συμβάλλουν στην ποσοτικοποίησή του.

Έτσι, ο ιατρός εκτιμά το μέγεθος της αραίωσης, καθώς και την ανταπόκριση στη φαρμακευτική ή τη χειρουργική θεραπεία, αντιπαραβάλλοντας και συγκρίνοντας οπτικά φωτογραφίες που απεικονίζουν την πάσχουσα περιοχή σε διαφορετικές χρονικές περιόδους.

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της χρήσης των φωτογραφιών κατ' αυτό τον τρόπο είναι πως, αφενός, η αξιολόγηση του αποτελέσματος είναι υποκειμενική και συνεπώς στερείται αντικειμενικότητας, αφετέρου δε, απαιτείται μια αρκετά μεγάλη αλλαγή στην πυκνότητα για να γίνει αντιληπτή και συνεπώς να διαγνωστεί έγκαιρα μια αργής εξέλιξης τριχόπτωσης. Συνεπώς, η χρήση μακροφωτογραφιών με οπτική παρατήρηση αδυνατεί να συνδράμει στην πρόωρη και έγκαιρη διάγνωση της τριχόπτωσης και επομένως στη χορήγηση αποτελεσματικής αγωγής.

Επιπλέον, η λήψη καλής ποιότητας φωτογραφιών απαιτεί εμπειρία και γνώση από τον χρήστη, ώστε η ποιότητά τους να είναι τέτοια που και να μην δυσχεραίνει την παρατήρηση του αποτελέσματος και να μην προκαλεί αμφιβολίες.

Τέλος, επειδή καμιά πληροφορία σχετικά με το ποσοστό αλλαγής της πυκνότητας του τριχωτού δεν παρέχεται από την απλή παρατήρησή τους, η ποσοτικοποίηση του προβλήματος του ασθενούς είναι αδύνατη.

Τα τελευταία χρόνια έχει καθιερωθεί η χρήση της USB κάμερας, που επιτρέπει τη λήψη μικροφωτογραφιών από το τριχωτό της κεφαλής σε μεγέθυνση 30, 50 ή και 100 φορές .

Οι μικροφωτογραφίες από την πάσχουσα περιοχή μπορούν να αναδείξουν ποιοτικά χαρακτηριστικά όπως είναι η εκφύλιση των τριχοθυλακίων σε μονά τριχοθυλάκια, η λέπτυνση της τρίχας, οι βλάβες στο στέλεχος και τη ρίζα της τρίχας (εικ. 4.10).

Όλα αυτά συνδράμουν θετικά στη διάγνωση και αξιολόγηση της κατάστασης του τριχωτού, δυστυχώς όμως η αδυναμία της ποσοτικής αξιολόγησης του προβλήματος εξακολουθεί να υφίσταται. Η διαδικασία αυτή της τριχοσκόπησης<sup>1,2</sup> αποτελεί μεν σημαντικό διαγνωστικό εργαλείο, που στερείται όμως ποσοτικών μετρήσεων ώστε να καθίσταται αυτή η εξέταση ένα πολύτιμο εργαλείο στα χέρια του θεράποντος ιατρού.



Εικόνα 4.10: Ψηφιακή μικροφωτογραφία τριχωτού με σοβαρή αραίωση ProScope HR2, μεγέθυνση 50x.

Το λογισμικό, που έχουμε αναπτύξει, επεξεργάζεται τις μάκρο και μικροφωτογραφίες του ασθενούς και επιτρέπει την αυτοματοποιημένη μέτρηση ειδικών παραμέτρων καθώς και καταγραφή και επεξεργασία των ευρημάτων. Είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να επιτρέπει τη λεπτομερή και ολοκληρωμένη εκτίμηση της κατάστασης των μαλλιών και αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για την έγκαιρη διάγνωση του είδους και του τύπου της τριχόπτωσης. Με τον τρόπο αυτό, η διαδικασία της τριχοσκόπησης ψηφιοποιείται, βελτιώνεται και συντελεί στην ακριβή διάγνωση και παρακολούθηση τόσο της φαρμακευτικής αγωγής όσο και της χειρουργικής αποκατάστασης, παρέχοντας το κατάλληλο πλαίσιο ώστε να καταστεί ένα αποτελεσματικό εργαλείο στην κλινική πράξη της αντιμετώπισης της ανδρογενετικής αλωπεκίας.

Σε αυτή την αδρή περιγραφή αξίζει να αναφέρουμε πως το λογισμικό πρόγραμμα FOLLYSIS<sup>®</sup> προσφέρει συγκριτικά αποτελέσματα από μετρήσεις εικόνων σε διάφορες χρονικές περιόδους, ανάλογα με το πρωτόκολλο της εκάστοτε κλινικής, που καθιστούν πιο ακριβή και σαφή την ανταπόκριση στη θεραπεία.

Η επεξεργασία των εικόνων με τη βοήθεια του FOLLYSIS<sup>®</sup> στοχεύει στα εξής:

### **α) Επεξεργασία μακροφωτογραφιών**

Οι μακροφωτογραφίες ή απλώς φωτογραφίες του ασθενούς εισάγονται στο σύστημα είτε από φάκελο είτε από φωτογραφική μηχανή, κινητό ή το tablet, σε πραγματικό χρόνο. Καταχωρούνται στο φάκελο του ασθενούς και αρχειοθετούνται ανάλογα με την ημερομηνία λήψης τους και το είδος της διαδικασίας, εφόσον πρόκειται για αρχική εξέταση, μεταμόσχευση ή παρακολούθηση.

Βασική χρήση τους είναι η μέτρηση και καταγραφή του εμβαδού της περιοχής ή υποπεριοχών της πάσχουσας ή της δότριας ζώνης. Κάθε φωτογραφία, που εισάγεται στο σύστημα όπως έχει περιγραφεί σε προηγούμενο εδάφιο, αποτελεί σημαντικό και αναπόσπαστο βήμα του treatment planning και του υπολογισμού της



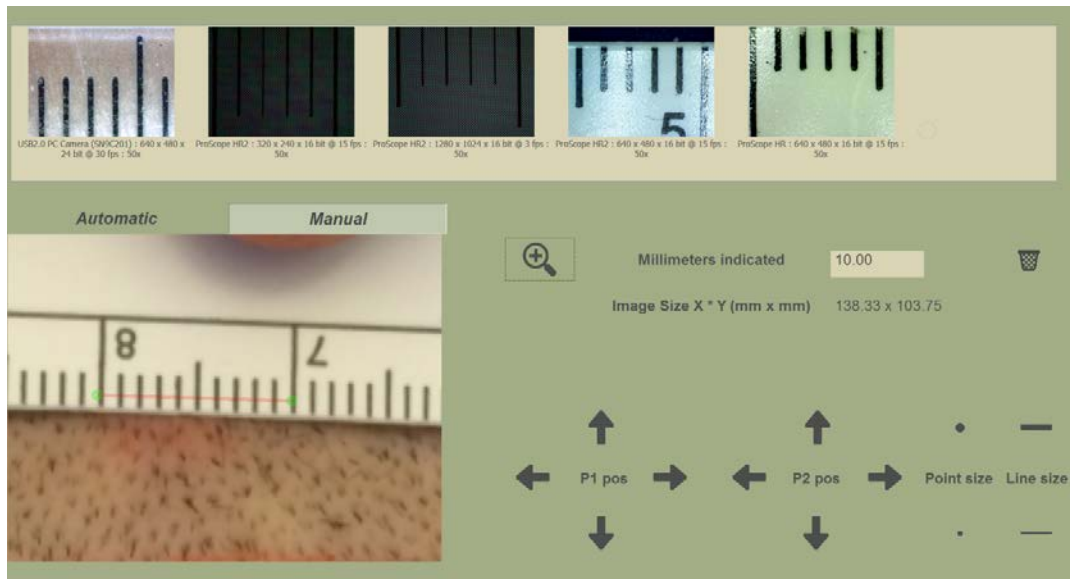
πικνότητας. Αυτά επιτυγχάνονται με την υποδιαίρεση της φωτογραφίας σε μικρότερες περιοχές και το χαρακτηρισμό τους με συγκεκριμένη ονομασία, π.χ. hair line, frontal core area, vertex, donor area κ.τ.λ. και με την απόδοση συγκεκριμένου χρώματος σε κάθε περιοχή. Το σύστημα είναι συμβατό με την τεχνολογία οθόνης αφής, οπότε ο ιατρός μπορεί, με τη βοήθεια του ειδικού στυλό που διαθέτει το tablet, να μαρκάρει την περιοχή που επιθυμεί και να προσδιορίσει το εμβαδόν που της αντιστοιχεί.

Κατά την εισαγωγή της φωτογραφίας στο σύστημα είναι απαραίτητη η βαθμολόγησή της ώστε να υπολογιστεί με ακρίβεια το εμβαδόν της. Έτσι, η λήψη της φωτογραφίας γίνεται με ταυτόχρονη απεικόνιση και ενός μετρητικού οργάνου, π.χ. ενός χάρακα (εικ. 4.11).



Εικόνα 4.11: Στη φωτογραφία απεικονίζεται το όργανο μετρήσεως (χάρακας).

Ο χρήστης, πατώντας την ένδειξη με το χάρακα, που βρίσκεται στο μενού εργασιών του FOLLYSIS<sup>®</sup>, μεταβαίνει στο πεδίο της βαθμονόμησης της εικόνας, όπου με ακρίβεια προσδιορίζει το μήκος μιας σαφώς καθορισμένης απόστασης (με τη βοήθεια του μετρητικού οργάνου) (εικ. 4.12).



Εικόνα 4.12: Βαθμονόμηση της εικόνας στο FOLLYSIS<sup>®</sup>.

Έτσι το σύστημα μπορεί να υπολογίσει με ακρίβεια το εμβαδόν της σημασμένης με συγκεκριμένο χρώμα υποπεριοχής. Η άθροιση όλων των εμβαδών των υποπεριοχών προσδιορίζει το συνολικό εμβαδόν της προς μελέτην περιοχής.

Το ανθρώπινο κρανίο δεν είναι επίπεδη επιφάνεια: χαρακτηρίζεται από καμπυλότητα, που παρουσιάζει τοπική διακύμανση. Για μικρές περιοχές του τριχωτού μπορούμε με αρκετή ακρίβεια να υποθέσουμε πως το εμβαδόν τους ισούται προσεγγιστικά με το εμβαδόν της αντίστοιχης επίπεδης περιοχής, που προκύπτει από την προβολή τους στο κάθετο προς τον παρατηρητή επίπεδο. Έτσι, μια μεγάλης επιφάνειας περιοχή του τριχωτού υποδιαιρείται σε μικρότερες περιοχές, οι οποίες φωτογραφίζονται από διαφορετικές γωνίες λήψης, ώστε να προβληθούν κάθετα στο επίπεδο της παρατήρησης. Το άθροισμα των εμβαδών αυτών γίνεται από το FOLLYSIS<sup>®</sup> αυτόματα και μας δίνει το συνολικό εμβαδόν ολόκληρης της προς μελέτην περιοχής.

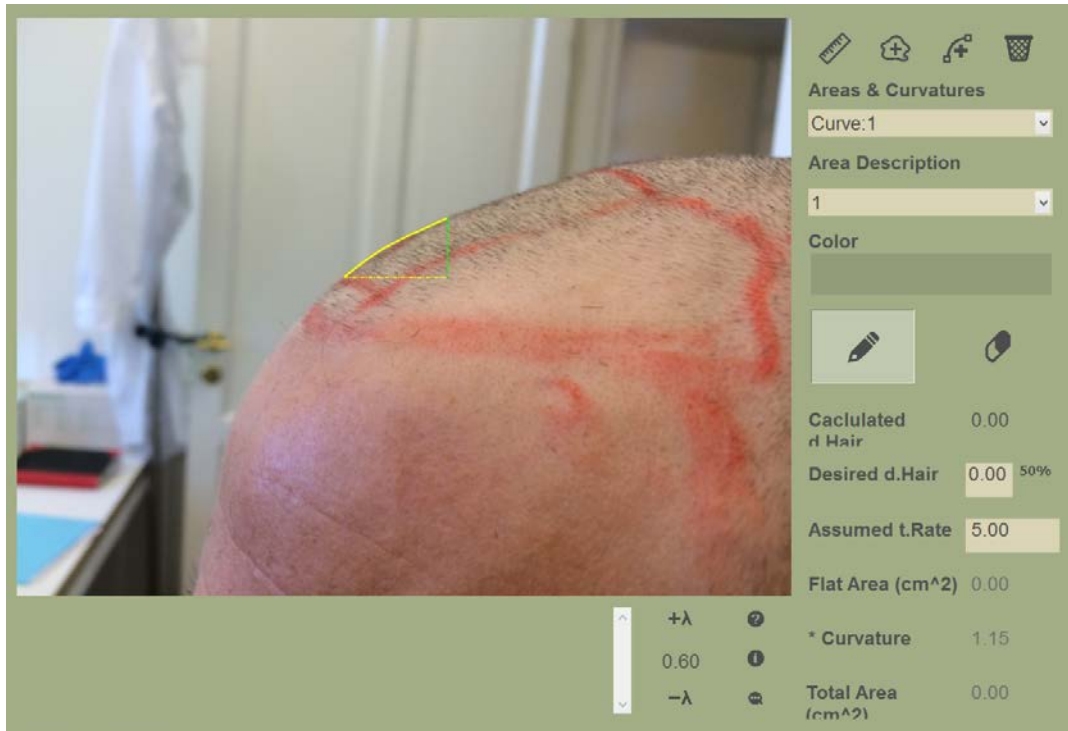
Ένας άλλος, λιγότερο ακριβής τρόπος είναι ο προσδιορισμός ενός συντελεστή διόρθωσης, που περιγράφει την εκατοστιαία αύξηση της καμπύλης επιφάνειας σε σχέση με την αντίστοιχη κάθετη προβολή της. Η τεχνική αυτή απαιτεί τη λήψη δύο φωτογραφιών με τρόπο τέτοιο ώστε η κατεύθυνση λήψης της μιας να είναι κάθετη με την κατεύθυνση λήψης της άλλης (εικ. 4.13 Α).



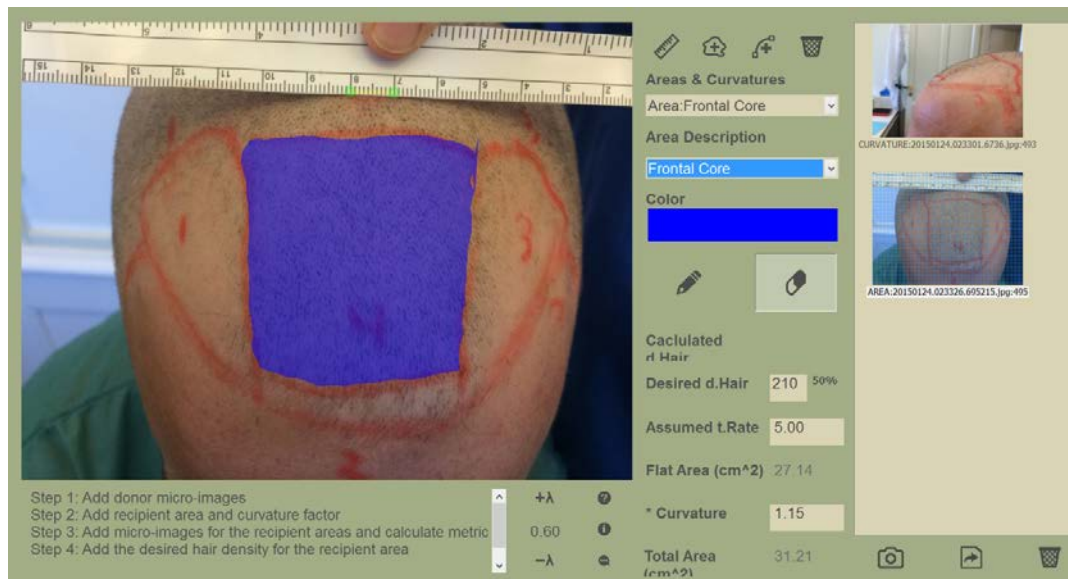
Εικόνα 4.13Α: Λήψη φωτογραφιών από γωνίες λήψης κάθετες μεταξύ τους.

Στην πράξη, ο ιατρός ζητά από τον ασθενή να κρατήσει την κεφαλή σταθερή, κοιτώντας σταθερά σε ένα σημείο. Εν συνεχεία λαμβάνει μία λήψη της επιφάνειας κατά μήκος του κατακόρυφου άξονα της κεφαλής. Η δεύτερη λήψη είναι προφίλ. Αυτή η λήψη χρησιμεύει για τον υπολογισμό του «συντελεστή καμπυλότητας». Ο ιατρός-χρήστης εισαγάγει την εικόνα στο σύστημα, αφού πατήσει το κατάλληλο εικονίδιο που φέρει την ένδειξη καμπύλης. Στη συνέχεια, αντιστοιχεί την εικόνα και την καμπυλότητά της σε μια υποπεριοχή. Με τη βοήθεια του κέρσορα ιχνηλατεί το περίγραμμα της επιφάνειας της κεφαλής όπως απεικονίζεται στην εικόνα 4.13 Β.

Το σύστημα υπολογίζει το διορθωτικό συντελεστή καμπυλότητας του εμβαδού από το πηλίκο του μήκους της καμπύλης του περιγράμματος διά της προβολής αυτής στο κάθετο επίπεδο. Εν συνεχεία, στην οθόνη του FOLLYSIS<sup>®</sup> αναγράφεται το εμβαδόν της επίπεδης επιφάνειας, που προέκυψε από την πρώτη φωτογραφία και αντιστοιχεί στο εμβαδόν της προβάλλουσας επιφάνειας, ο συντελεστής διόρθωσης και η τελική τιμή της καμπύλης επιφάνειας (εικ. 4.13 Γ). Για την αύξηση της ακρίβειας της δεύτερης μεθόδου είναι δυνατόν να υπολογίζεται για κάθε υποπεριοχή και διαφορετικός συντελεστής διόρθωσης.



Εικόνα 4.13B: Υπολογισμός συντελεστή διόρθωσης καμπυλότητας με το FOLLYSIS®.



Εικόνα 4.13Γ: Μέτρηση εμβαδού καμπύλης επιφάνειας μετά από υπολογισμό του συντελεστή διόρθωσης καμπυλότητας

Η δεύτερη μέθοδος, αν και δεν είναι τόσο ακριβής όσο η πρώτη, έχει ενσωματωθεί στο σύστημα για να προσφέρει μια γρήγορη και αδρή εκτίμηση του εμβαδού επιφάνειας της προς εξέταση περιοχής.

## β) Επεξεργασία μικροφωτογραφιών

Είναι σαφές πως η επεξεργασία των μικροφωτογραφιών αποτελεί την πιο σημαντική και χρήσιμη λειτουργία του FOLLYSIS<sup>®</sup>. Η διαδικασία αυτή στηρίζεται στην ανάπτυξη κατάλληλου λογισμικού και ενσωμάτωση κατάλληλων φίλτρων εικόνας, που σκοπό έχουν την αυτόματη ανίχνευση των τριχοθυλακίων. Ταυτόχρονα, στην ενσωμάτωση ειδικών αλγορίθμων που επιτρέπουν να μετρούμε με ακρίβεια:

- την τιμή της πυκνότητας των τριχών και τριχοθυλακίων ανά  $cm^2$
- την μεταξύ τους μέση απόσταση
- τη μέση οπτική πυκνότητα
- το ποσοστό των τριχών που βρίσκονται σε τελογενή φάση
- εμβαδά μικροπεριοχών
- τη γωνία μεταξύ των στελεχών των τριχών ενός τριχοθυλακίου
- το λόγο  $\lambda$
- τη διάμετρο της τρίχας.

Τα ανωτέρω μεγέθη αποτελούν πολύ σημαντικές παραμέτρους και η καταγραφή των τιμών τους συμβάλλει καθοριστικά στην αποτελεσματικότητα της τριχοσκόπησης και του treatment planning, στην ποσοτικοποίηση του αποτελέσματος του ασθενούς και στην πρακτική και αξιόπιστη διαδικασία του follow up.

Οι μικροφωτογραφίες λαμβάνονται από περιοχές του τριχωτού με τη βοήθεια μιας USB μικροκάμερας. Για την αποτελεσματικότερη επεξεργασία των εικόνων, συνήθως το τριχωτό έχει ξυριστεί ομοιόμορφα ώστε το μήκος των τριχών να είναι περίπου 2 mm.

Το FOLLYSIS<sup>®</sup> παρέχει τη δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει τις μικροφωτογραφίες σε πραγματικό χρόνο, με λήψεις ανά συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, αυτόματα ή κατ' επιλογήν. Κάθε μικροφωτογραφία αντιστοιχίζεται σε συγκεκριμένη περιοχή του τριχωτού (δότρια ή λήπτρια). Δηλαδή, έχει ληφθεί πρόνοια ώστε, κατά την καταχώρηση των μικροφωτογραφιών, το FOLLYSIS<sup>®</sup> ερωτά τον χρήστη να ορίσει εξ αρχής το πεδίο του τριχωτού και της υποπεριοχής της δότριας ζώνης που θα αντιστοιχίσει την κάθε μικροφωτογραφία.

Η επεξεργασία των μικροφωτογραφιών στο FOLLYSIS<sup>®</sup> αποτελεί μια πολύ σημαντική διαδικασία, που πρώτιστο μέλημά της είναι η αυτόματη αναγνώριση των τριχοθυλακίων. Τα βήματα της διαδικασίας που ακολουθείται για το σκοπό αυτό είναι τα εξής:

1<sup>ο</sup>) Καταρχήν, η διαδικασία προβλέπει τη μετατροπή της έγχρωμης εικόνας σε αποχρώσεις του γκρι, με τη χρήση της Luminosity method.<sup>3,4</sup> Η μέθοδος αυτή επιλέχθηκε διότι είναι η πιο εξελιγμένη έκδοση της μέσης μεθόδου. Με τον τρόπο αυτό, γίνεται χρήση των μέσων τιμών της φωτεινότητας της εικόνας σταθμισμένα, δίνοντας μεγαλύτερη βαρύτητα στο πράσινο χρώμα στο οποίο είναι περισσότερο

ευαίσθητο το ανθρώπινο μάτι. Μειώνεται η συμμετοχή του κόκκινου χρώματος, αυξάνει αυτή του πράσινου και του μπλε τοποθετείται κάπου στο ενδιάμεσο. Η εξίσωση που δίνεται για τη νέα γκρι αποχρώσεων εικόνα είναι:

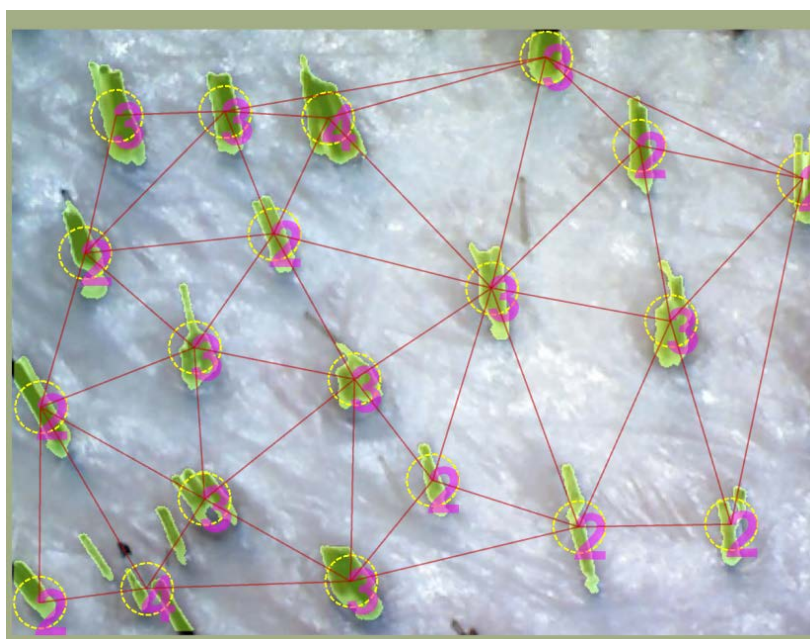
$$\text{New grayscale image} = (0.3 \times R + 0.59 \times G + 0.11 \times B)/3$$

Το πλεονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι πως η νέα εικόνα του γκρι είναι περισσότερο φωτεινή σε σχέση με τη μέση μέθοδο.

2<sup>ov</sup>) Επειδή οι εικόνες, λόγω της πίεσης που ασκεί η μικροκάμερα, παρουσιάζουν διαφορετική ένταση φωτός στο κέντρο τους από ό,τι στην περιφέρειά τους, γίνεται εφαρμογή ενός bias field correction<sup>5,6,7</sup> φίλτρου προς εξομάλυνση των διαφορών αυτών.

3<sup>ov</sup>) Σε ένα επόμενο βήμα, γίνεται διαχωρισμός του foreground από το background, με χρήση της balanced histogram thresholding method.<sup>8,9</sup>

Η τεχνική αυτή είναι μία απλή μέθοδος για αυτόματο image thresholding. Έτσι, οι εικόνες θεωρήθηκε ότι περιέχουν δύο είδη πληροφορίας: το background (επιδερμίδα) και το foreground (τρίχες). Με την τεχνική αυτή γίνεται προσπάθεια να βρεθεί το βέλτιστο όριο που διαχωρίζει το ιστόγραμμα στις δύο κατηγορίες (εικ.4.14).



Εικόνα 4.14: Διαχωρισμός background από foreground.

4<sup>ov</sup>) Για τον καθαρισμό των εικόνων από μικρά artifacts, εφαρμόστηκαν μορφολογικά φίλτρα dilation και erosion.<sup>10</sup>

Η διαδικασία αυτή αποτελεί τη βασική μεθοδολογία που εφαρμόζει το λογισμικό του FOLLYSIS<sup>®</sup> στην ανίχνευση και εντοπισμό των τριχοθυλακίων. Η αυτόματη αναγνώρισή τους στις μικροφωτογραφίες είναι πολύ βασική για τον υπολογισμό των παραμέτρων που αναφέρθηκαν, τόσο για την τριχοσκόπηση όσο και για το treatment planning.

Τα τριχοθυλάκια όμως αποτελούν δομές του τριχωτού της κεφαλής, που

φέρουν στελέχη τριχών. Κάθε ένα από αυτά μπορεί να έχει –όπως έχει αναφερθεί– 1, 2, 3, 4 και κάποιες φορές 5 ή περισσότερα στελέχη τριχών. Η αναγνώριση των τριχών επιτυγχάνεται στο FOLLYSIS<sup>®</sup> με μια semi-automatic διαδικασία που κυρίως στηρίχθηκε στην εφαρμογή της connected-component labeling,<sup>11</sup> μιας αλγοριθμικής εφαρμογής της θεωρίας γραφικών, όπου ένα υποσύνολο συνδεδεμένων συνιστωσών σημαίνονται μοναδικά με βάση μια δεδομένη heuristic και αποδίδονται σε μία συγκεκριμένη ομάδα.

Τέλος, μια αλληλουχία ειδικών αλγορίθμων, βασισμένη στο watershed segmentation model,<sup>12</sup> εφαρμόστηκε για να διαχωρισθούν οι τρίχες από το υπόστρωμα της εικόνας, ελαχιστοποιώντας την επίδραση των artifacts που μπορεί να υπήρχαν στην εικόνα.

Επειδή η αναγνώριση των τριχών έχει πολλές πρακτικές δυσκολίες και δεν ανιχνεύονται πάντοτε όλα τα στελέχη τριχών των τριχοθυλακίων, το σύστημα επιτρέπει την παρέμβαση του ιατρού, ο οποίος, με την παρατήρηση της εικόνας, μπορεί να σημάνει κάθε τριχοθυλάκιο ως μονότριχο, δίτριχο, τρίτριχο κ.ο.κ. Πιο συγκεκριμένα, το FOLLYSIS<sup>®</sup> επιτρέπει να γίνονται διορθώσεις στην επεξεργασμένη εικόνα, εφόσον ο ιατρός θεωρεί πως κάποιο τριχοθυλάκιο παραλήφθηκε ή πως ο αριθμός των τριχών που προσδιορίζει το σύστημα για κάποιο τριχοθυλάκιο δεν είναι σωστός.

Έτσι, όταν εισαχθεί η εικόνα στο σύστημα, ο χρήστης επιλέγει το εικονίδιο που ενεργοποιεί τη διαδικασία επεξεργασίας της εικόνας. Το σύστημα ανιχνεύει τα τριχοθυλάκια, τα οποία σημαίνονται με κίτρινους κύκλους, ενώ οι αριθμητικές ενδείξεις 1, 2, 3 κ.ο.κ. μέσα στον κύκλο αντιστοιχούν στον αριθμό των τριχών. Στον χρήστη, όταν τοποθετήσει τον κέρσορα μέσα στον κύκλο του τριχοθυλακίου, εμφανίζεται ένα μενού με επιλογές: T, V, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 και X (εικ. 4.15 A).



Εικόνα 4.15A: Χαρακτηρισμός τριχοθυλακίου από τον χρήστη.

Το T επιτρέπει να χαρακτηριστεί το τριχοθυλάκιο ως τελογενές, το V ως *velus*

(πολύ λεπτό), το  $\chi$  διαγράφει εντελώς το τριχοθυλάκιο από τους υπολογισμούς, ενώ οι υπόλοιποι αριθμοί αντιστοιχούν στον αριθμό των τριχών του τριχοθυλακίου.

Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας προβάλλονται αυτόματα στο δεξιό τμήμα της οθόνης, όπου υπολογίζονται ο αριθμός τριχοθυλακίων και τριχών, η πυκνότητα τριχοθυλακίων και τριχών ανά  $\text{cm}^2$ , η μέση απόσταση των τριχοθυλακίων και η οπτική πυκνότητα (εικ. 4.15 B).



Εικόνα 4.15B: Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στο δεξί μέρος της εικόνας.

Η τελευταία ορίζεται ως το ποσοστό της αμαύρωσης που προκαλούν οι τρίχες σε σχέση με το background της εικόνας-δέρματος. Η οπτική πυκνότητα εξαρτάται από το πάχος των τριχών και το μήκος τους. Είναι σαφές ότι, αν ληφθεί πρόνοια οι τρίχες να ξυρίζονται στο ίδιο περίπου μήκος, τότε για εικόνες με ίδια πυκνότητα τριχών η οπτική πυκνότητα μπορεί να διαφέρει αισθητά λόγω της αλλαγής που επέρχεται στο πάχος τους από την αρνητική επίδραση της τριχόπτωσης.

Τέλος, μία σημαντική παράμετρος είναι ο προσδιορισμός του  $\lambda$ , που εκφράζει το μέσο αριθμό τριχών ανά τριχοθυλάκιο. Η τιμή του αυξάνει ή μειώνεται ανάλογα με την αύξηση ή μείωση της πυκνότητας των τριχών στην περιοχή που εξετάζουμε.

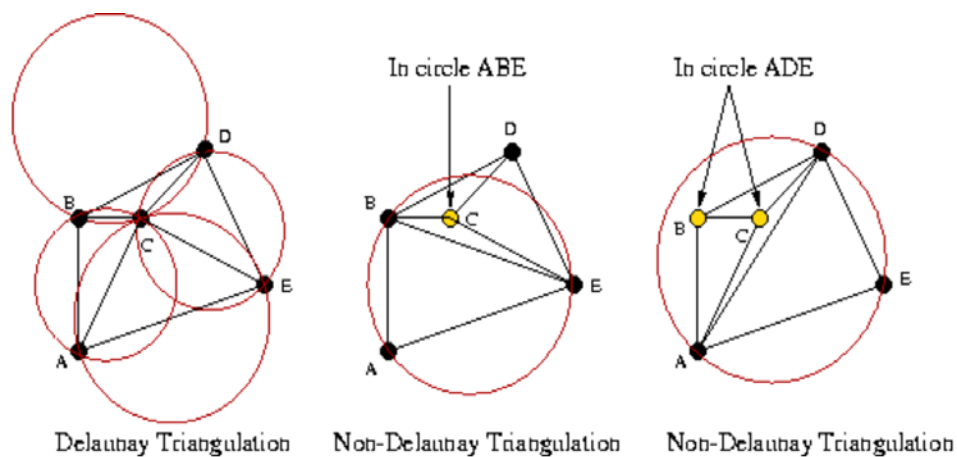
Το σύστημα επιτρέπει τον υπολογισμό και άλλων χρήσιμων παραμέτρων, που βοηθούν τον ιατρό να αξιολογήσει με μεγαλύτερη ακρίβεια την κατάσταση και τη σοβαρότητα της τριχόπτωσης. Με το χαρακτηρισμό των τριχοθυλακίων ως τελογενών, υπολογίζεται το ποσοστό των τριχών που βρίσκονται σε τελογενή φάση. Η διαγνωστική αξία της παραμέτρου αποτελεί σημαντική παράμετρο της τριχοσκόπησης. Συνήθως, σε φυσιολογικό τριχωτό, ένα 5% των τριχοθυλακίων βρίσκονται σε τελογενή φάση, η οποία αποτελεί μία φυσιολογική φάση του κύκλου της τρίχας. Αύξηση του ποσοστού αυτού σηματοδοτεί την ενεργοποίηση της τριχόπτωσης, ενώ η τιμή του είναι ανάλογη της σοβαρότητάς της.



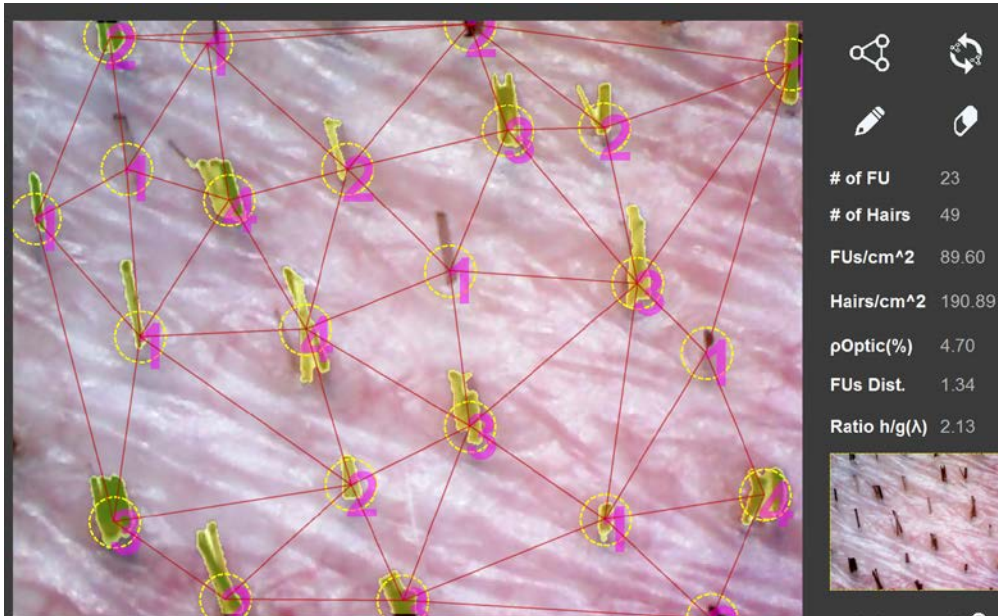
Η μέση απόσταση των τριχοθυλακίων αποτελεί μία ακόμα σημαντική παράμετρο του τριχωτού της κεφαλής, την οποία υπολογίζει το FOLLYSIS<sup>®</sup> με τη βοήθεια της επεξεργασίας των μικροφωτογραφιών. Διακυμάνσεις στην τιμή της συνδέονται ανάλογα με αύξηση ή μείωση της πυκνότητας των τριχοθυλακίων. Γίνεται κατανοητό λοιπόν πως η καταγραφή και παρακολούθηση του μεγέθους αυτού στο χρόνο βοηθά τον θεράποντα ιατρό να αποφανθεί καλύτερα για την ανταπόκριση στην εφαρμοζόμενη θεραπεία. Επιπλέον, η μέση απόσταση των τριχοθυλακίων αποτελεί σημαντικό κριτήριο για τους χειρουργούς μεταμόσχευσης, για το αν η μεταμόσχευση αποτελεί ασφαλή επιλογή σε κάποιους ασθενείς με αραιώση. Ο λόγος είναι πως, αν τα τριχοθυλάκια είναι αρκετά κοντά το ένα στο άλλο, η εμφύτευση νέων ενδέχεται να τραυματίσει τα υπάρχοντα, ελαχιστοποιώντας τις πιθανότητες επιτυχίας της επέμβασης.

Στο σημείο αυτό θα αναφέρουμε τη μέθοδο που χρησιμοποιήσαμε για τον υπολογισμό της μέσης απόστασης των τριχοθυλακίων. Πράγματι, για το σκοπό αυτό έγινε χρήση του Delaunay triangulation,<sup>13,14</sup> αλγορίθμου σε δύο διαστάσεις, ώστε να συνδεθούν μεταξύ τους τα τριχοθυλάκια.

Η μέθοδος της τριγωνοποίησης κατά Delaunay επιλέχθηκε διότι ελαχιστοποιεί τις μικρές γωνίες και τους περιγεγραμμένους κύκλους και είναι γεωμετρικά κομψή και αισθητικά πιο αποδεκτή στον ανθρώπινο οφθαλμό. Η τριγωνοποίηση κατά Delaunay είναι μοναδική για ένα δεδομένο αριθμό σημείων. Ορίζεται δε για ένα αριθμό σημείων στο επίπεδο ως εξής: η AB είναι η πλευρά ενός τριγωνικού σχηματισμού, κατά Delaunay, εφόσον υπάρχει κύκλος που περνάει από τα A και B έτσι ώστε κάθε άλλο σημείο που ανήκει σε ένα σύνολο σημείων C, με το C να είναι διαφορετικό από τα A ή B, να βρίσκεται εκτός του περιγεγραμμένου κύκλου (εικ. 4.16).



Εικόνα 4.16Α: Τριγωνοποίηση κατά Delaunay.



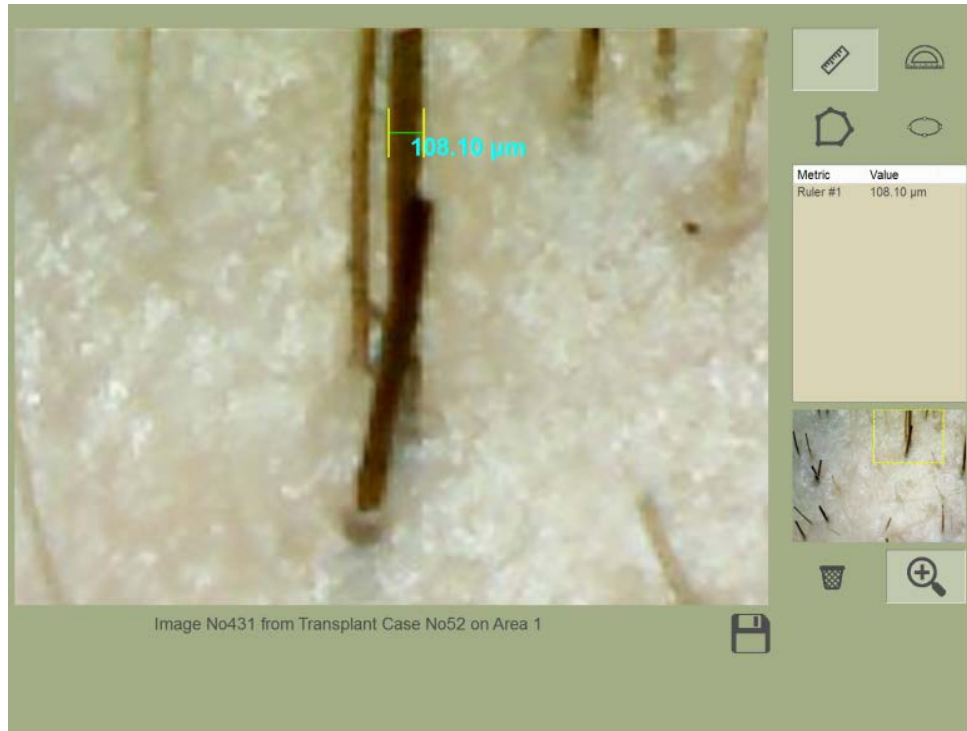
Εικόνα 4.16B: Προσδιορισμός της μέσης απόστασης τριχοθυλακίων με τριγωνοποίηση κατά Delaunay.

## Μετρητικά εργαλεία του FOLLYSIS<sup>®</sup>

Το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα στον ιατρό να κάνει και εξειδικευμένες μετρήσεις, όπως να υπολογίσει το πάχος της τρίχας, τη γωνία μεταξύ των στελεχών των τριχοθυλακίων και το εμβαδόν του τραύματος που προκαλείται από το runch στη δότρια ζώνη.

Πιο συγκεκριμένα, το πάχος της τρίχας μετράται σε μm, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.17. Για δεδομένη μικροφωτογραφία, ο χρήστης επιλέγει το εικονίδιο της μεγέθυνσης και μεγεθύνει την εικόνα. Ο κέρσορας σύρεται από την μια πλευρά στην άλλη της τρίχας και μετράται αυτόματα το πάχος της.

Η διαφορά στο μέγεθος της διαμέτρου των τριχών δότριας και λήπτριας περιοχής είναι μία παράμετρος που πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν, δεδομένου ότι οι πάσχουσες από την τριχόπτωση περιοχές του τριχωτού περιέχουν όχι μόνο λιγότερες αλλά και μικρότερης διαμέτρου τρίχες από εκείνες της δότριας.



Εικόνα 4.17: Υπολογισμός διαμέτρου τρίχας.

Έστω ότι κάθε στέλεχος τρίχας της λήπτριας ζώνης είναι  $\alpha$  φορές πιο λεπτό από εκείνο της δότριας. Ο υπολογισμός του μέσου πάχους των τριχών της πάσχουσας περιοχής και του μέσου πάχους των τριχών της δότριας ζώνης μπορεί να προσδιορίσει αυτόματα το συντελεστή  $\alpha$  με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Η ενσωμάτωση του τύπου 9,  $g_e = \frac{(a^2 - 2k) \cdot g_d}{2a^2 \lambda_p} \cdot S_r \Rightarrow \frac{g_e}{S_r} = \frac{(a^2 - 2k) \cdot g_d}{2a^2 \lambda_p}$ , στους

υπολογισμούς του treatment planning προσφέρει με μεγαλύτερη ασφάλεια τον αριθμό των τριχών/μοσχευμάτων που πρέπει να εξαχθούν και να τοποθετηθούν στην πάσχουσα περιοχή ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα, κάνοντας τη λιγότερο δυνατή σπατάλη δότριας ζώνης. (Βλ. Παράρτημα Β)

Στο σημείο αυτό αξίζει να τονίσουμε πως ο συσχετισμός του μέσου πάχους των τριχών και του αριθμού τους ανά  $\text{cm}^2$  προσδιορίζει ουσιαστικά την ποσότητα των τριχών ή, πιο εύστοχα, το hair quantity της προς εξέταση περιοχής. Η μέτρηση αυτής της παραμέτρου είναι πολύ σημαντική για να υπολογισθεί με ακρίβεια ο αριθμός των τριχών της δότριας ζώνης που πρέπει να ματαμοσχευθούν στη λήπτρια περιοχή ώστε να επιτευχθεί το βέλτιστο αισθητικό αποτέλεσμα. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να αντιμετωπισθούν με μεγαλύτερη επιτυχία περιπτώσεις πύκνωσης ασθενών με αραιά μαλλιά.

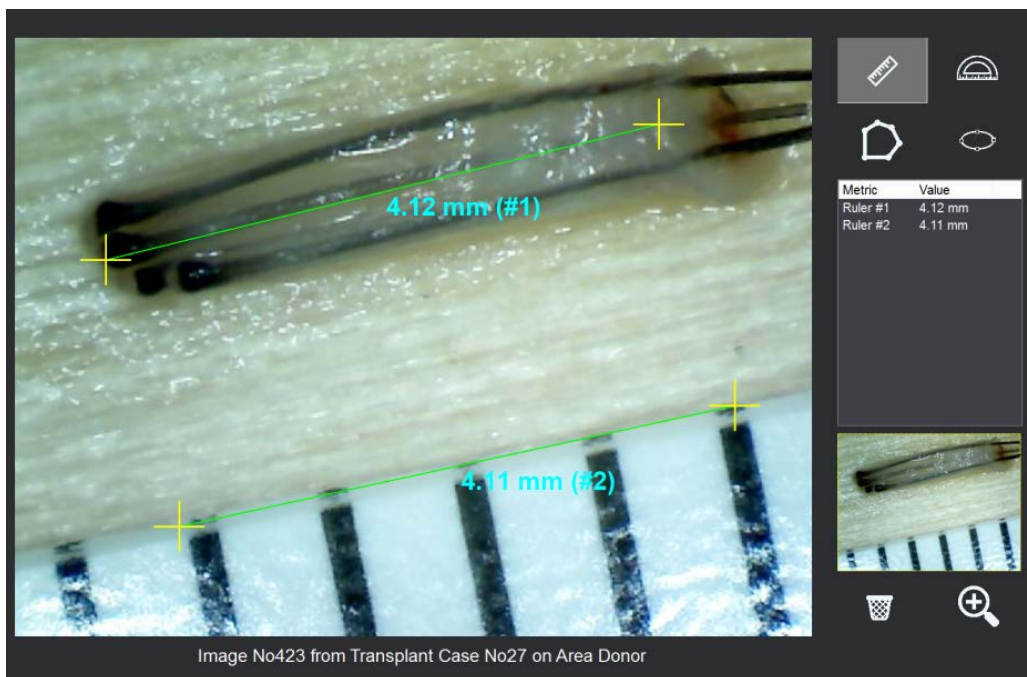
Η δυσκολία των περιπτώσεων αυτών οφείλεται στις εξής πιθανές επιπλοκές:

Είτε ο ιατρός, στην προσπάθειά του να μην τραυματίσει τα υπάρχοντα τριχοθυλάκια, εμφυτεύει μικρότερη ποσότητα τριχών από την αναγκαία, με αποτέλεσμα το τελικό αποτέλεσμα να είναι φτωχό.

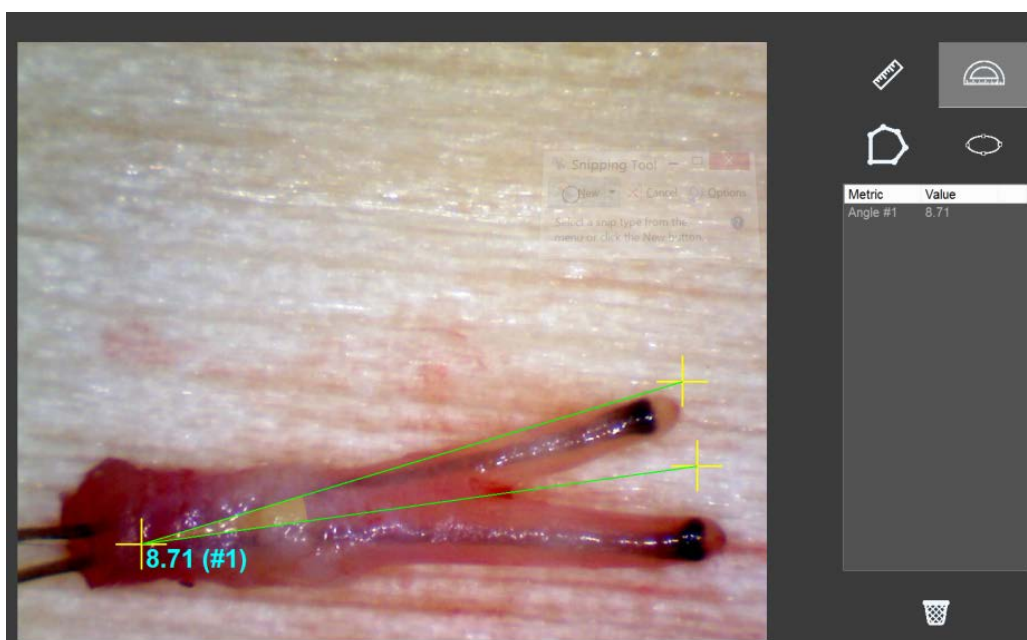
Είτε ένας μεγάλος αριθμός τριχοθυλακίων εμφυτεύεται, με συνέπεια τον

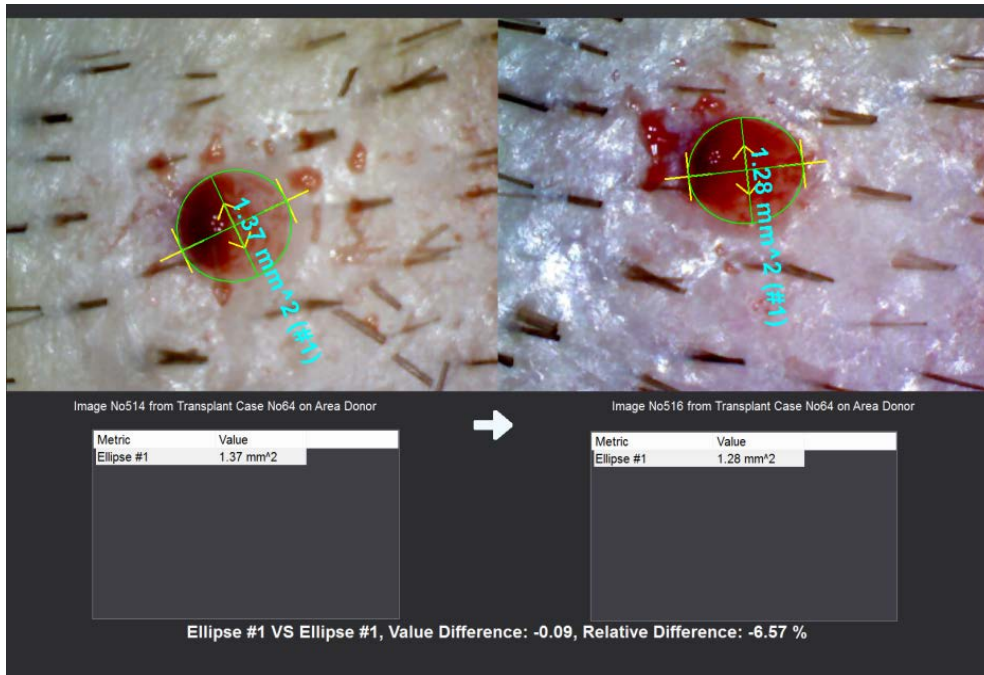
τραυματισμό των υπαρχόντων τριχοθυλακίων λόγω των χειρουργικών χειρισμών και σπατάλη της δότριας ζώνης, που είναι απαραίτητη για μελλοντικές επεμβάσεις λόγω της εξελισσόμενης τριχόπτωσης.

Το μήκος των τριχοθυλακίων (εικ. 4.18) και η γωνία που παρουσιάζουν μεταξύ τους τα στελέχη των τριχών στα τριχοθυλάκια (εικ. 4.19) μπορούν επίσης να μετρηθούν με τα μετρητικά εργαλεία του FOLLYSIS<sup>®</sup>. Η αξία των μετρήσεων αυτών, όπως επίσης και η σημασία του εμβαδού του τραύματος της δότριας περιοχής από το punch (εικ.20) στην έρευνα και βελτιστοποίηση της διαδικασίας της εξαγωγής, περιγράφεται αναλυτικά σε άλλα κεφάλαια.



Εικόνα 4.18 (άνω) και 4.19 (κάτω)





Εικόνα 4.20

## Έλεγχος και αξιοποίηση της διαδικασίας αυτόματης ανίχνευσης τριχοθυλακίων από το FOLLYSIS<sup>©</sup>

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά της επεξεργασίας των μικροφωτογραφιών είναι η αυτόματη αναγνώριση των τριχοθυλακίων από το λογισμικό του FOLLYSIS<sup>©</sup>.

Η αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου του συστήματος αξιολογήθηκε σε δείγμα 56 μικροφωτογραφιών, που ελήφθησαν από περιοχές του τριχωτού της κεφαλής με τη βοήθεια USM κάμερας (Bodelin Proscope HR2 x 50, στα 640 x 480 pixels). Οι φωτογραφίες ελήφθησαν από διάφορα σημεία του τριχωτού διαφορετικών ασθενών, το οποίο είχε ξυριστεί στα 1-2 mm μήκος.

Κάθε μικροφωτογραφία επεξεργάστηκε με το FOLLYSIS<sup>©</sup> και ένας ιατρός ειδικός στις μεταμοσχεύσεις τριχωτού της κεφαλής αξιολόγησε κάθε φορά το αποτέλεσμα. Για κάθε μικροφωτογραφία προσδιορίστηκαν οι ακόλουθες παράμετροι:

*TP – true positive – τριχοθυλάκια που ανιχνεύθηκαν,*

*FP – false positive – περιοχή που λανθασμένα ανιχνεύθηκε ως τριχοθυλάκιο,*

*FN – false negative – τριχοθυλάκια που δεν ανιχνεύθηκαν,*

*Original FUs – αριθμός τριχοθυλακίων που υπάρχουν στην εικόνα,*

*Final FUs – αριθμός τριχοθυλακίων που ανιχνεύθηκαν.*

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

	Image	TP	FP	FN	ORIGINAL FUs	FINAL FUs	Sensitivity = TP/(TP+FN)	Precision =TP/(TP+FP)
1	12677	25	1	0	26	25	100	96,15384615
2	31078	29	1	1	30	30	96,66666667	96,66666667
3	72590	14	1	1	15	15	93,33333333	93,33333333
4	47889	24	0	2	24	26	92,30769231	100
5	75061	22	1	0	23	22	100	95,65217391
6	54171	18	0	0	18	18	100	100
7	94093	22	0	0	22	22	100	100
8	10870	18	0	0	18	18	100	100
9	25324	18	0	1	18	19	94,73684211	100
10	28006	27	0	0	27	27	100	100
11	53494	16	0	0	16	16	100	100
12	97317	24	0	1	24	25	96	100
13	81643	16	0	0	16	16	100	100
14	9501	22	0	2	22	24	91,66666667	100
15	27722	20	0	1	20	21	95,23809524	100
16	45834	26	0	0	26	26	100	100
17	65209	18	0	1	18	19	94,73684211	100
18	79406	24	0	0	0	0	100	100
19	97086	26	0	2	26	28	92,85714286	100
20	74852	22	0	1	22	23	95,65217391	100
21	12167	25	0	1	25	26	96,15384615	100
22	94042	23	1	0	24	23	100	95,83333333
23	48073	20	0	1	20	21	95,23809524	100
24	60102	24	1	0	25	24	100	96
25	71264	16	0	1	16	17	94,11764706	100
26	89963	22	0	1	22	23	95,65217391	100
27	12778	20	0	0	20	20	100	100
28	26880	27	1	0	28	27	100	96,42857143
29	3425	21	0	0	21	21	100	100
30	42532	24	6	1	30	25	96	80
31	75096	23	0	0	23	23	100	100
32	39160	19	0	0	19	19	100	100
33	92769	26	1	0	27	26	100	96,2962963
34	14307	28	0	0	28	28	100	100
35	30160	22	0	4	22	26	84,61538462	100



Μετά από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων (πίνακας 1), η ευαισθησία και ακρίβεια του συστήματος βρέθηκαν στα Sensitivity = 97,5% ± 3,8 και Precision = 98,6% ± 3,1 αντίστοιχα (εικ. 4.21 A, B).

[g1]

		Condition (as determined by "Gold standard")		Prevalence = Σ Condition positive Σ Total population	
		Total population	Condition positive		
Test outcome	Test outcome positive	True positive	False positive (Type I error)	Positive predictive value (PPV, Precision) = Σ True positive Σ Test outcome positive	False discovery rate (FDR) = Σ False positive Σ Test outcome positive
	Test outcome negative	False negative (Type II error)	True negative	False omission rate (FOR) = Σ False negative Σ Test outcome negative	Negative predictive value (NPV) = Σ True negative Σ Test outcome negative
Positive likelihood ratio (LR+) = TPR/FPR		True positive rate (TPR, Sensitivity, Recall) = Σ True positive Σ Condition positive	False positive rate (FPR, Fall-out) = Σ False positive Σ Condition negative	Accuracy (ACC) = Σ True positive + Σ True negative Σ Total population	
Negative likelihood ratio (LR-) = FNR/TNR		False negative rate (FNR) = Σ False negative Σ Condition positive	True negative rate (TNR, Specificity, SPC) = Σ True negative Σ Condition negative		
Diagnostic odds ratio (DOR) = LR+/LR-					

<b>true positive (TP)</b> eqv. with hit
<b>true negative (TN)</b> eqv. with correct rejection
<b>false positive (FP)</b> eqv. with false alarm, Type I error
<b>false negative (FN)</b> eqv. with miss, Type II error
<b>sensitivity or true positive rate (TPR)</b> eqv. with hit rate, recall $TPR = TP/P = TP/(TP + FN)$
<b>specificity (SPC) or true negative rate</b> $SPC = TN/N = TN/(FP + TN)$
<b>precision or positive predictive value (PPV)</b> $PPV = TP/(TP + FP)$
<b>negative predictive value (NPV)</b> $NPV = TN/(TN + FN)$
<b>fall-out or false positive rate (FPR)</b> $FPR = FP/N = FP/(FP + TN) = 1 - SPC$
<b>false discovery rate (FDR)</b> $FDR = FP/(TP + FP) = 1 - PPV$
<b>accuracy (ACC)</b> $ACC = (TP + TN)/(P + N)$
<b>F1 score</b> is the harmonic mean of precision and sensitivity $F1 = 2TP/(2TP + FP + FN)$
<b>Matthews correlation coefficient (MCC)</b> $\frac{TP \times TN - FP \times FN}{\sqrt{(TP + FP)(TP + FN)(TN + FP)(TN + FN)}}$
<b>Informedness</b> $TPR + SPC - 1$
<b>Markedness</b> $PPV + NPV - 1$
Source: Fawcett (2006). <sup>[1]</sup>

Εικόνες 4.21 A και B

Τα αποτελέσματα αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα του συστήματος. Είναι προφανές πως ανακρίβειες ή αστοχίες του προγράμματος συνδέονταν κυρίως με κακή τεχνική στη λήψη των μικροφωτογραφιών, σε λιπαρότητα του δέρματος, κομμένες τρίχες, μη ομοιόμορφη πίεση της κάμερας πάνω στο τριχωτό, ακούσια



κίνηση του χρήστη ή του ασθενούς.

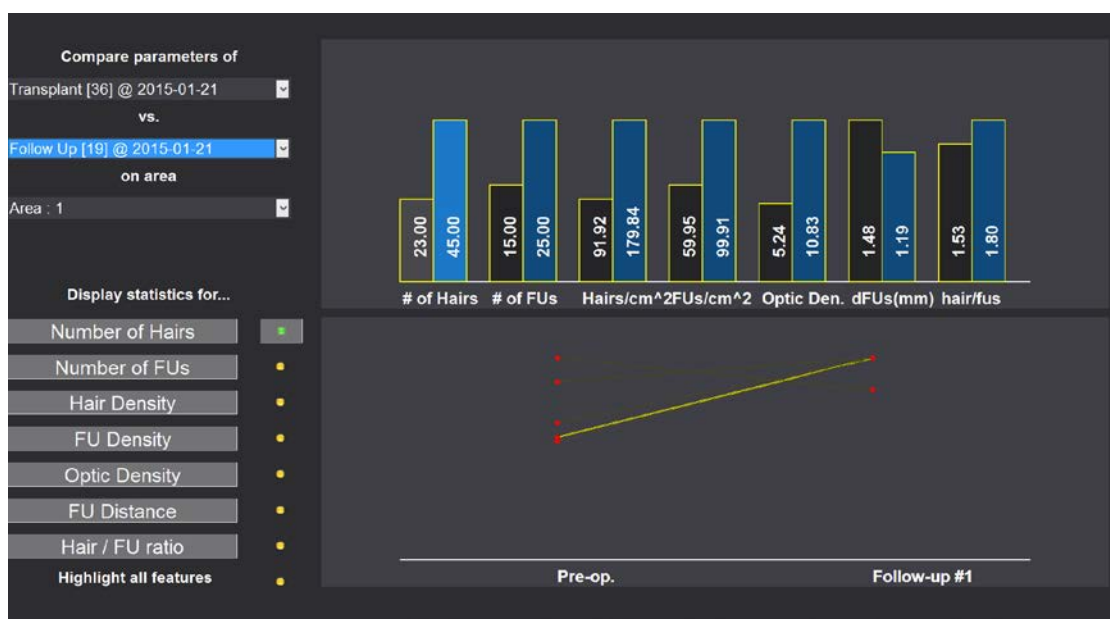
## Στατιστική επεξεργασία

Η συγκριτική επεξεργασία των μέσων τιμών χαρακτηριστικών όπως η πυκνότητα, ο λόγος λ, η οπτική πυκνότητα, η μέση απόσταση, που συλλέγονται από την ανάλυση των μικροφωτογραφιών, αποτελεί άλλη μια σημαντική δυνατότητα του συστήματος.

Το FOLLYSIS<sup>®</sup> υπολογίζει τη μέση τιμή κάθε μεγέθους από σειρά μικροφωτογραφιών. Είναι σαφές πως η στατιστική επεξεργασία αποτελεί βασική παράμετρο για την ακρίβεια του συστήματος. Επειδή είναι εξαιρετικά δύσκολο να σαρώσουμε όλο το τριχωτό της κεφαλής με μικροφωτογραφίες, γίνεται αντιληπτό πως η ακρίβεια των μετρήσεων αυξάνει με τον αριθμό του δείγματος των μικροφωτογραφιών. Όσο περισσότερες μικροφωτογραφίες λαμβάνουμε, τόσο το στατιστικό δείγμα αυξάνει και η ακρίβεια των μετρήσεων των χαρακτηριστικών μεγεθών του τριχωτού της δότριας και πάσχουσας περιοχής βελτιώνεται. Έτσι, στο treatment planning ο υπολογισμός των τριχοθυλακίων / τριχών στηρίζεται στη μέση τιμή της πυκνότητας των μικροφωτογραφιών από τη δότρια και λήπτρια περιοχή.

Ειδικότερα, τώρα, στο follow up του ασθενούς, το FOLLYSIS<sup>®</sup> προσφέρει στον ιατρό τη δυνατότητα να παρακολουθήσει και να συγκρίνει πληροφορίες που αφορούν το τριχωτό προ και μετά της θεραπείας. Οι χαρακτηριστικές τιμές των παραμέτρων της δότριας και κυρίως της λήπτριας περιοχής υπολογίζονται, καταγράφονται και επεξεργάζονται στατιστικά για κάθε ασθενή, από σειρά μετρήσεων των μικροφωτογραφιών της δότριας και λήπτριας περιοχής.

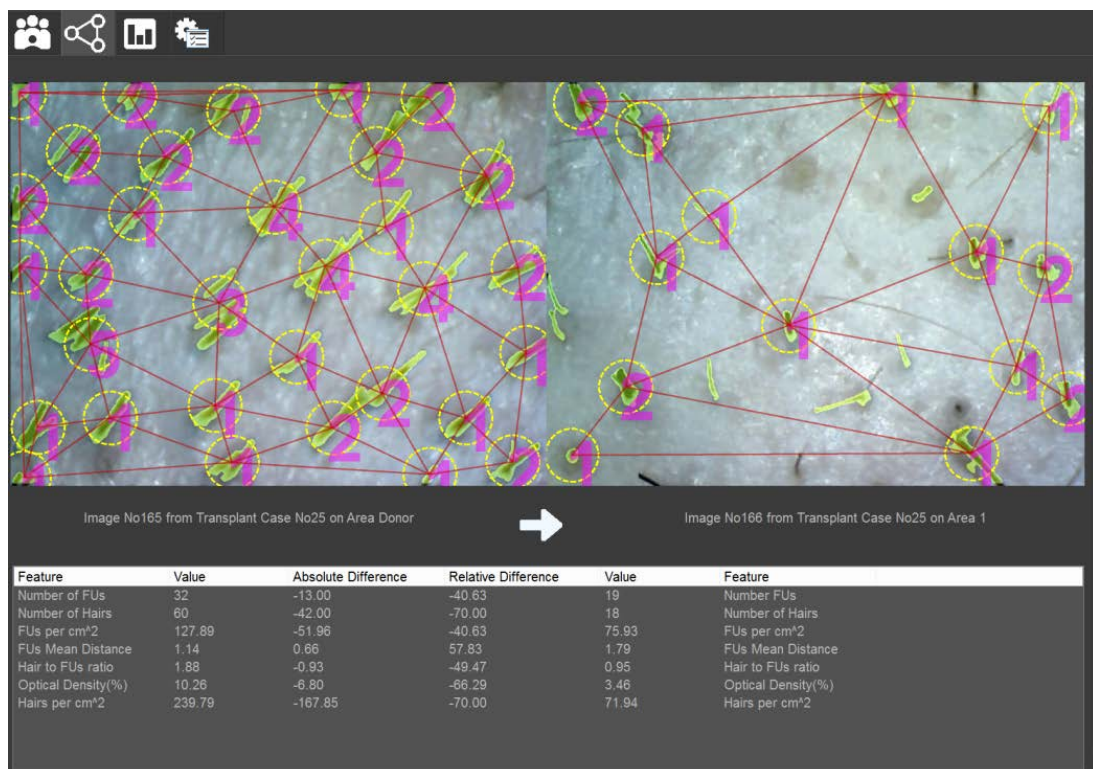
Σε κάθε follow up επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία, ενώ το πρόγραμμα απεικονίζει γραφικά τη διακύμανση συν τω χρόνω της πυκνότητας, των τριχών, των τριχοθυλακίων, της οπτικής πυκνότητας, του λόγου λ και της μέσης απόστασης, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.22.



Εικόνα 4.22: Απεικόνιση της αύξησης του αριθμού τριχών.

Η ποσοτικοποίηση του αποτελέσματος μπορεί να γίνει με σύγκριση των τιμών της δότριας ζώνης ή περιοχής σταθερής τριχοφυΐας με αυτές της πάσχουσας περιοχής.

Στην εικόνα 4.23, η ασθενής παρουσιάζει σχετική μείωση της πυκνότητας των τριχών /cm<sup>2</sup> ίση με το 70% της αρχικής τιμής. Οι υπόλοιπες αλλαγές περιγράφονται στην εικόνα 5.24, όπου διακρίνεται καθαρά πώς το FOLLYSIS<sup>®</sup> υπολογίζει τις απόλυτες και σχετικές διαφορές των χαρακτηριστικών παραμέτρων του τριχωτού της κεφαλής.



Εικόνες 4.23, 4.24: Ποσοτικοποίηση του προβλήματος του ασθενούς.

## Εφαρμογή του FOLLYSIS<sup>®</sup> στην κλινική πράξη

Στο σημείο αυτό θα περιγράψουμε τη χρήση του FOLLYSIS<sup>®</sup> στην κλινική πράξη, αναδεικνύοντας καλύτερα την ικανότητα του συστήματος να:

- αποθηκεύει τα δεδομένα του ασθενούς
- κάνει χρήση της ψηφιακής τριχοσκόπησης
- καθοδηγεί τον ιατρό στο εξατομικευμένο treatment planning του ασθενούς
- καταγράφει το follow up του ασθενούς
- και, τέλος, να ποσοτικοποιεί το αποτέλεσμα.

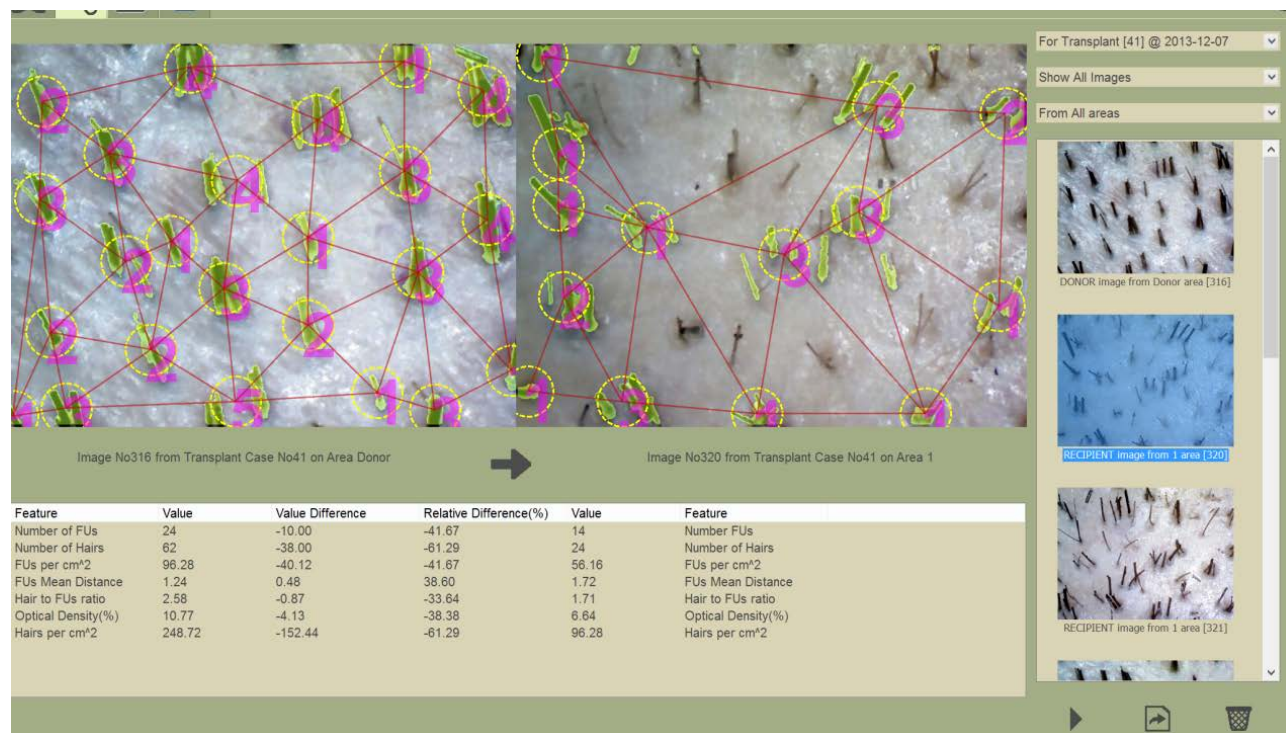
Η εφαρμογή του FOLLYSIS<sup>®</sup> έγινε σε έναν άνδρα, 47 ετών, ο οποίος έπασχε από ανδρογενετική αλωπεκία.

Στη φωτογραφία (εικ. 4.25) απεικονίζεται το πρόβλημα της αραιώσης του τριχωτού στην πρόσθια περιοχή της κεφαλής. Τα στοιχεία του ασθενούς και φωτογραφίες του τριχωτού εισήχθησαν στη βάση δεδομένων του FOLLYSIS<sup>®</sup>. Επίσης, μικροφωτογραφίες από τη δότρια και πάσχουσα περιοχή ελήφθησαν με την βοήθεια μιας USB κάμερας και αποθηκεύθηκαν επίσης στο σύστημα.



Εικόνα 4.25

Μετά από επεξεργασία των μικροφωτογραφιών δότριας και λήπτριας ζώνης, φάνηκε πως η αραίωση του τριχωτού στην πάσχουσα περιοχή ήταν περίπου στο 61,29% της φυσιολογικής τιμής της ζώνης σταθερής τριχοφυΐας (εικ. 4.26). Επίσης, οι σχετικές διαφορές των υπόλοιπων μετρήσεων υπολογίστηκαν όπως διακρίνεται στην εικόνα.



[g2]OM3

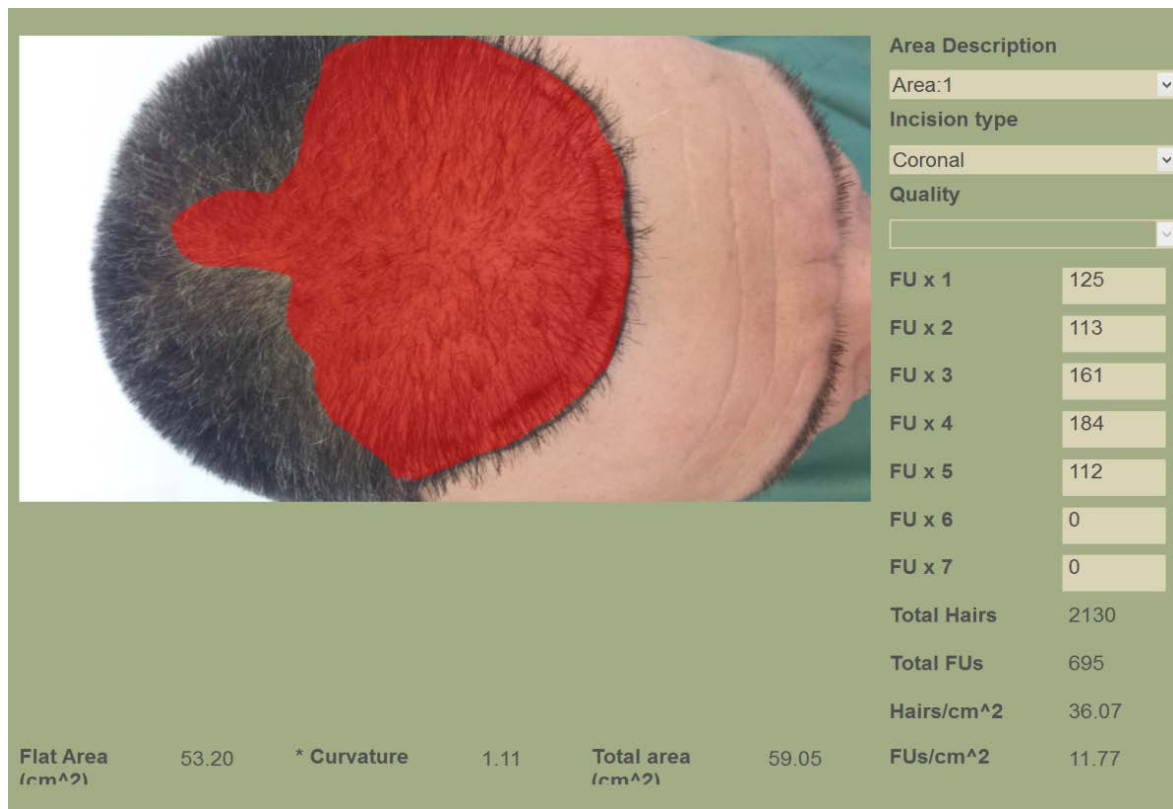
Εικόνα 4.26

Επιθυμία του ασθενούς ήταν να αυξηθεί η πυκνότητα σε τέτοιο βαθμό ώστε να μην είναι ορατή καμία αραίωση διά γυμνού οφθαλμού.

Η απαίτηση αυτή προϋποθέτει αύξηση της πυκνότητας τουλάχιστον στο 50% αυτής στη δότρια ζώνη. Το treatment planning του ασθενούς φαίνεται στην εικόνα 4.27. Το FOLLYSIS<sup>®</sup> υπολόγισε το εμβαδόν της πάσχουσας περιοχής στα 59 cm<sup>2</sup>, τον αριθμό των τριχών στις 1.935 και των μοσχευμάτων στα 634, όπως είναι οι προαπαιτήσεις για τη συγκεκριμένη επέμβαση. Τελικά τοποθετήθηκαν 2.130 τρίχες, που αντιστοιχούν σε 645 μοσχεύματα, όπως φαίνεται και στο ψηφιακό έντυπο του ασθενούς, αναμένοντας μια αύξηση της πυκνότητας κατά 36 τρίχες ανά cm<sup>2</sup> (εικ. 4.28).



Εικόνα 4.27: Treatment planning του ασθενούς.



Εικόνα 4.28: Αναλυτική καταγραφή τριχών και τριχοθυλακίων.

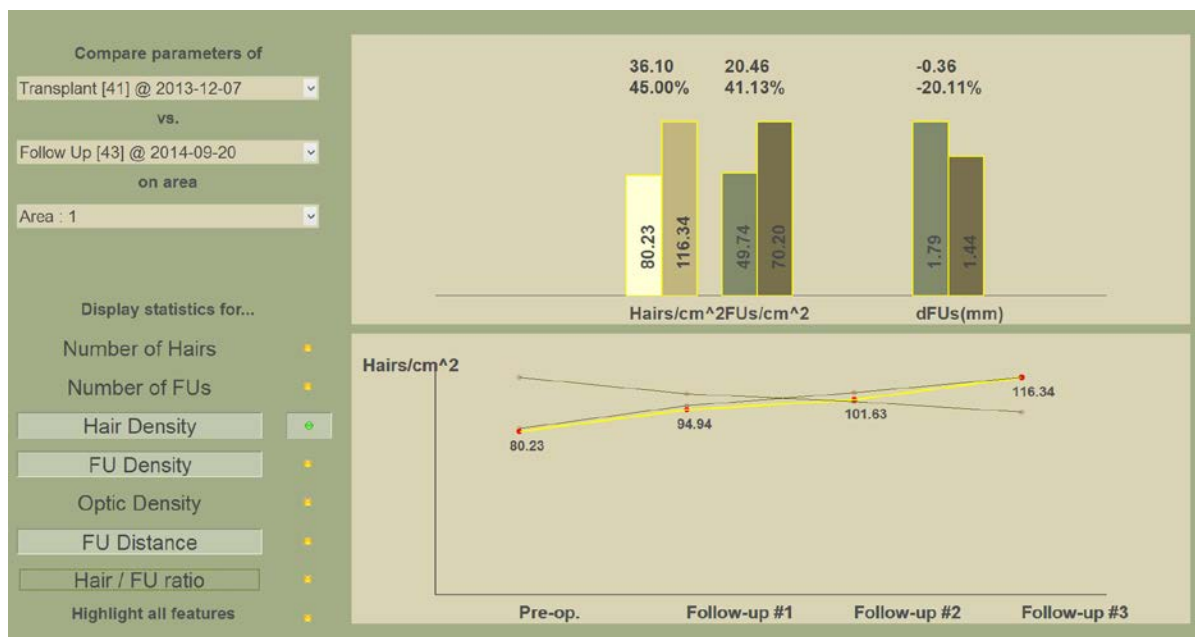
Ο ασθενής προσήλθε για παρακολούθηση στους 4, 7 και 11 μήνες μετά την επέμβαση. Σε κάθε follow up, μικροφωτογραφίες ελήφθησαν από τη λήπτρια περιοχή, αποθηκεύτηκαν στη βάση δεδομένων του FOLLYSIS<sup>®</sup> και επεξεργάστηκαν ώστε να προσδιορισθούν οι αναμενόμενες αλλαγές στην πυκνότητα των τριχών και τριχοθυλακίων.

Το τελικό αποτέλεσμα του ασθενούς φαίνεται στην εικόνα 4.29, ενώ στην

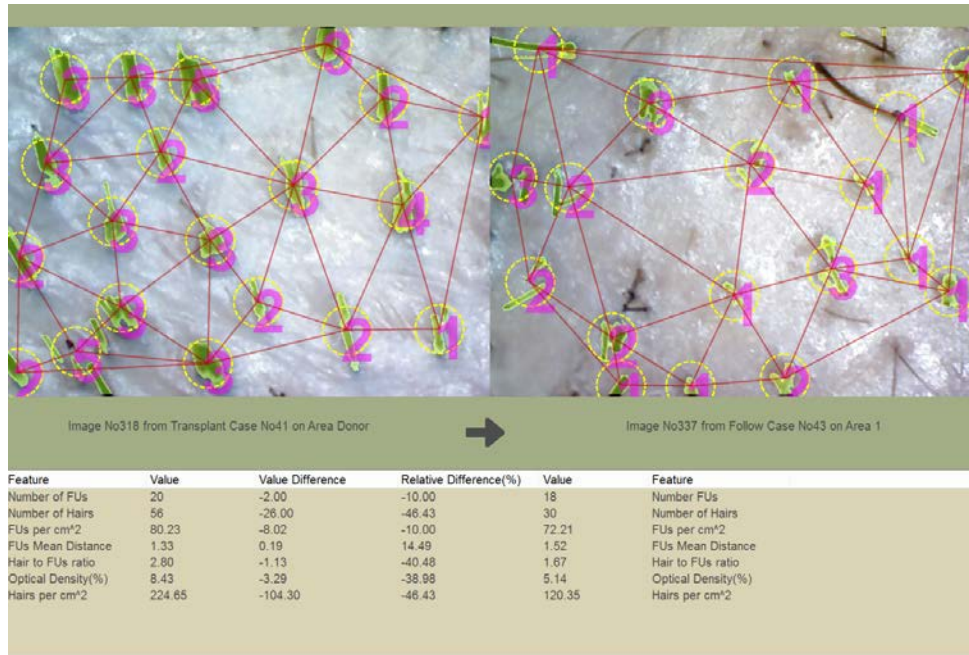
εικόνα 4.30 απεικονίζεται η αύξηση της πυκνότητας τριχών και τριχοθυλακίων στο χρόνο και η μείωση των μέσων αποστάσεων των τριχοθυλακίων. Η σύγκριση των τιμών της αρχικής πυκνότητας της δότριας ζώνης με την πυκνότητα στο τελικό αποτέλεσμα ανέδειξε πως η τελευταία υπολείπεται κατά 46,33%, γεγονός που ικανοποιεί την αρχική απαίτηση του 50% ώστε η αραιώση να μην είναι ορατή (εικ. 4.31).



Εικόνα 4.29: Τελικό αποτέλεσμα.



Εικόνα 4.30: Το γράφημα αποδίδει τη βελτίωση των παραμέτρων του τριχωτού στα follow ups.



Εικόνα 4.31: Ποσοτικός προσδιορισμός τελικού αποτελέσματος. Η τελική πυκνότητα υπολείπεται κατά 46,43%.

## Συμπέρασμα

Μέχρι σήμερα, ο ιατρός που ασχολείται με θεραπεία της τριχόπτωσης είχε αρκετές δυσκολίες ώστε να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά προβλήματα αραιώσης τριχωτού με τα διαγνωστικά και υπολογιστικά μέσα που διέθετε. Το FOLLYSIS<sup>®</sup>, όπως φαίνεται και από την ανάλυση που προηγήθηκε και το παράδειγμα που παρουσιάστηκε, αποτελεί ένα αποτελεσματικό εργαλείο στη διάγνωση και το μετεγχειρητικό follow up του ασθενούς, διότι αυτοματοποιεί τις μετρήσεις σημαντικών χαρακτηριστικών του τριχωτού. Επιπλέον, αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο στο treatment planning της μεταμόσχευσης, αφού βοηθά τον ιατρό να αποφασίσει τον ακριβή αριθμό τριχών και μοσχευμάτων για ένα άριστο αισθητικό αποτέλεσμα.

# 5

## Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ FOLLYSIS<sup>®</sup> ΣΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ FUE

Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετήσουμε τη συμβολή του συστήματος FOLLYSIS στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της ενδοδερμικής έγχυσης φυσιολογικού ορού για την ελαχιστοποίηση του τραυματισμού της δότριας ζώνης με την τεχνική FUE.

Αν και το FUE<sup>1,2</sup> είναι μια σχετικά νέα τεχνική εξαγωγής τριχοθυλακίων από τη δότρια ζώνη, η αποδοχή του και προτίμησή του από τους ασθενείς έχουν αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Ο κύριος λόγος είναι ότι το FUE δεν δημιουργεί ουλή, όπως συνήθως συμβαίνει με τη χρήση της τεχνικής strip. Επιπλέον, η ελάχιστα επεμβατική φύση του FUE επιτρέπει μία πολύ γρηγορότερη διαδικασία επούλωσης.<sup>3,4</sup>

Ωστόσο, ο τραυματισμός, που προκαλείται στη δότρια ζώνη κατά την εξαγωγή από το runch, προκαλεί ακόμα ανησυχία σε ασθενείς και χειρουργούς, καθώς όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία επούλωσης γίνονται ορατά πολλαπλά μικρά άσπρα σημάδια, γνωστά ως υποχρωματισμός (hypopigmentation)<sup>5</sup> (εικ. 5.1). Μία εκτεταμένη παραγωγή ουλώδους ιστού ή ίνωσης, προϊόν της διαδικασίας επούλωσης, δεν είναι μόνο ένα σημαντικό κοσμητικό πρόβλημα για έναν ασθενή με πολύ κοντά μαλλιά αλλά έχει και ως αποτέλεσμα μια δότρια ζώνη η οποία θα προκαλέσει προβλήματα σε μελλοντικές FUE επεμβάσεις. Ο βαθμός της ουλοποίησης συνδέεται άμεσα με το μέγεθος του τραυματισμού της δότριας ζώνης και εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες, όπως το μέγεθος του runch, ο αριθμός των μοσχευμάτων που εξάγονται ανά cm<sup>2</sup>, το transection rate,<sup>6</sup> η απόσταση μεταξύ των τρυπών που δημιουργεί το runch, ο αριθμός προηγούμενων επεμβάσεων FUE και η γωνία εξόδου των τριχών.

Η γωνία έκφυσης (ή γωνία εξόδου)<sup>7,8</sup> επηρεάζει το τραύμα στη δότρια ζώνη, επειδή όταν το runch κατευθύνεται υπό οξεία γωνία δημιουργεί ένα ελλειπτικό τραύμα, που είναι σημαντικά μεγαλύτερο σε μέγεθος επιφάνειας από ό,τι όταν το runch τοποθετείται κάθετα. Για την αποτελεσματική διαχείριση του προβλήματος αυτού έχουμε αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, προτείνοντας την ενδοδερμική έγχυση φυσιολογικού ορού στη δότρια περιοχή, καθιστώντας έτσι την κατεύθυνση των τριχοθυλακίων περισσότερο κάθετη, ώστε το runch να μπορεί να τοποθετηθεί σε μια πιο αμβλεία γωνία.

Πραγματοποιώντας επεμβάσεις FUE ύστερα από ενδοδερμική έγχυση φυσιολογικού ορού (N/S) σε αρκετούς ασθενείς, δύο παρατηρήσεις έγιναν: Πρώτον, το δέρμα τεντώθηκε, κι έτσι η ποσότητα της μάζας του δέρματος που αφαιρέθηκε ανά μονάδα κοπτικής επιφάνειας runch ήταν πολύ μικρότερη από αυτήν στην οποία δεν είχε γίνει έγχυση με N/S. Δεύτερον, όταν ο φυσιολογικός ορός διαχύθηκε

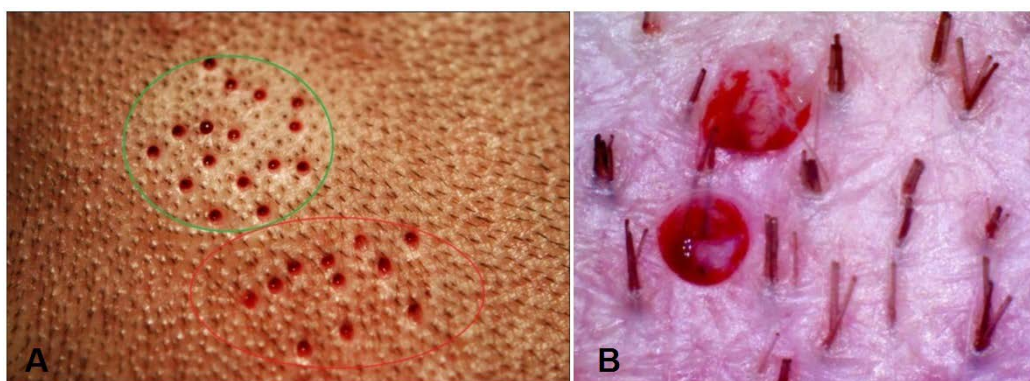


εντελώς ή απορροφήθηκε από τους ιστούς, το δέρμα επέστρεψε στη φυσιολογική κατάστασή του, με αποτέλεσμα οι διαστάσεις του τραύματος να μειωθούν ακόμα περισσότερο σε σχέση με την επιφάνεια τραύματος στην οποία δεν είχε χρησιμοποιηθεί N/S.



Εικόνα 5.1: Διάστικτος υποχρωματισμός: Πολυάριθμες μικρές ουλές μπορεί να είναι εμφανείς στη δότρια ζώνη, ειδικά αν ο ασθενής έχει πολύ κοντά μαλλιά.

Ως εκ τούτου, κατέστη προφανές ότι ένα runch, που τοποθετείται σε οξεία γωνία χωρίς έγχυση N/S, προκαλεί μεγαλύτερο τραύμα στη δότρια περιοχή σε σύγκριση με αυτό που προκαλείται από runch, το οποίο τοποθετείται σε  $90^\circ$  μετά την έγχυση N/S (εικ. 5.2).



Εικόνα 5.2: Α) Ένα runch 1,0 mm σε διαφορετικές γωνίες προκαλεί διαφορετικού μεγέθους οπές. Οι οπές μέσα στον πράσινο κύκλο δημιουργήθηκαν τοποθετώντας το runch κάθετα στην επιφάνεια της δότριας ζώνης, ενώ οι οπές μέσα στον κόκκινο κύκλο δημιουργήθηκαν τοποθετώντας το runch σε οξεία γωνία.

Β) Η μικροφωτογραφία (ψηφιακή μικροφωτογραφία ProScore HR2, μεγέθυνση 50x) δείχνει τη διαφορά κάθε τραύματος που δημιουργείται από runch ίδιου μεγέθους στις  $30^\circ$  και  $90^\circ$  αντίστοιχα.

Αφού η επούλωση στο FUE γίνεται κατά δεύτερο σκοπό,<sup>1, 9</sup> το μέγεθος του τραύματος και το ποσοστό της μάζας δέρματος που αφαιρείται είναι οι δύο πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία επούλωσης. Κατά συνέπεια, υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους ένας τριχοθυλάκιο (FU) μπορεί να εξαχθεί από τη δότρια περιοχή χρησιμοποιώντας ένα runch: ο παραδοσιακός τρόπος, κατά τον οποίο δεν χρησιμοποιείται N/S και το runch είναι ευθυγραμμισμένο παράλληλα με τη φυσική κατεύθυνση των θυλάκων των τριχών και ο συνιστώμενος τρόπος, κατά τον οποίο εγχύεται N/S ενδοδερμικά πριν από την εξαγωγή και το runch τοποθετείται στις 90°. Οι όροι Acute Extraction (AE) και Vertical Extraction (VE) έχουν εισαχθεί από τον συγγραφέα για να περιγράψουν την πρώτη και τη δεύτερη μέθοδο αντίστοιχα.

## Σκοπός

Σκοπός της μελέτης ήταν να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα της ενδοδερμικής έγχυσης N/S πριν από την εξαγωγή, για την ελαχιστοποίηση του τραυματισμού της δότριας ζώνης. Για να επιτευχθεί αυτό, υπολογίζουμε τα εξής:

- Το ακριβές ποσοστό της μάζας του δέρματος που αφαιρείται στην AE σε σύγκριση με την VE.

- Τη μέση μείωση του μεγέθους της επιφάνειας του τραύματος στην VE σε σύγκριση με την AE, 3 ώρες μετά από την έκχυση.

- Πόσο, τέλος, μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια του τραύματος στην AE σε σύγκριση με την VE.

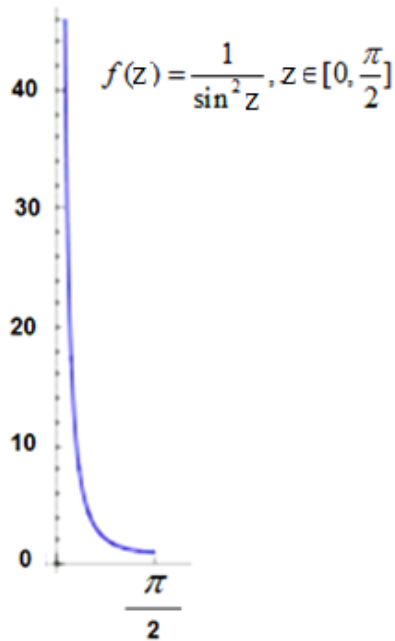
Τέλος, αναδεικνύουμε τη χρησιμότητα του FOLLYSIS<sup>®</sup> στην επιβεβαίωση του ισχυρισμού μας περί ελαχιστοποίησης του τραυματισμού της δότριας ζώνης και, κατά συνέπεια, της βελτιστοποίησης της τεχνικής FUE.

## Υλικά και μέθοδοι

Κατά τη διάρκεια της FUE, εγχύεται φυσιολογικός ορός 0,9% ενδοδερμικά και το δέρμα διαστέλλεται, ενώ η πυκνότητα της μάζας του δέρματος, η οποία περιέχεται στην ίδια μονάδα όγκου, μειώνεται. Έτσι, το runch, το οποίο τοποθετείται κάθετα, κόβει έναν κύλινδρο με μικρότερο όγκο και μικρότερη μάζα δέρματος. Όταν ο φυσιολογικός ορός έχει διαχυθεί, το δέρμα επανέρχεται στην κανονική του κατάσταση, κι έτσι ο όγκος του τραύματος γίνεται μικρότερος. Αντίθετα, στην AE, το runch τοποθετείται σε μια γωνία  $z$  προκαλώντας μεγαλύτερο κυλινδρικό τραύμα και αφαιρώντας μεγαλύτερη μάζα.

Μπορεί να θεωρηθεί ότι, στην AE, μετά την εξαγωγή ενός τριχοθυλακίου η ανατομία των ιστών γύρω από το runch δεν αλλάζει, οπότε οι διαστάσεις της πληγής παραμένουν οι ίδιες. Ωστόσο, η χορήγηση του αναισθητικού καθώς και οίδημα, που προκαλείται από την ιστική βλάβη, μπορεί να έχει κάποια επίδραση στον όγκο του τραύματος.





Εικόνα 5.4: Η γραφική παράσταση δείχνει την απότομη πτώση της συνάρτησης  $f(z)$  όταν η γωνία  $z$  βρίσκεται κοντά στις  $90^\circ$ .

Η συνάρτηση  $f(z) = \frac{1}{\sin^2 z}$  στην εικόνα 5.4 δείχνει ότι η τιμή του  $m_A$  μειώνεται ραγδαία όταν το  $z$  πλησιάζει στις  $90^\circ$ .<sup>10</sup> Αν  $z=90$  τότε  $\sin z=1$ , οπότε:

$$m_A = \frac{S_V}{S_A} m_V \Rightarrow \frac{m_A}{m_V} = \frac{S_V}{S_A} \quad (2)$$

Η τελευταία αυτή εξίσωση περιγράφει την περίπτωση της VE και η τιμή  $\frac{m_A}{m_V}$  είναι το ποσοστό μάζας του δέρματος που δεν απομακρύνεται από το runch, λόγω της έγχυσης N/S.

Παρατηρώντας την εξίσωση 5.1 πιο προσεκτικά, είναι προφανές ότι η τιμή  $\frac{m_A}{m_V}$  μπορεί να υπολογιστεί εάν μετρώνται οι επιφάνειες των τραυμάτων και η τιμή της γωνίας  $z$ . Η τιμή της γωνίας  $z$  μπορεί εύκολα να υπολογιστεί, με τον τύπο  $S_2 = \frac{S_1}{\sin^2 z}$  (3), όπου  $S_2$  είναι το αρχικό τραύμα στην AE και  $S_1$  η επιφάνεια διατομής του runch.

Επειδή το runch έχει ένα ορισμένο πάχος, η εξωτερική διάμετρος μετρήθηκε με ένα ψηφιακό μικρόμετρο και βρέθηκε να είναι (για τα runch που χρησιμοποιούμε) 1,111mm (εικ. 5.5). Αυτή η διάμετρος αντιστοιχεί σε  $0,968\text{mm}^2$ .

Έτσι, από την εξίσωση 3 προκύπτει ότι  $z = \sin^{-1} \left( \frac{0,968}{S_2} \right)$ .



Εικόνα 5.5: Η εξωτερική διάμετρος ενός punch 1,0 mm, όπως μετρήθηκε με τη βοήθεια ψηφιακού μικρομέτρου.

## Πρωτόκολλο

Για τη μελέτη αυτή επιλέξαμε 35 ασθενείς, ηλικίας 23 έως 49, οι οποίοι υποβλήθηκαν σε επέμβαση FUE στην κλινική μας. Η επιλογή των ασθενών έγινε με βάση το αν ήταν κατάλληλοι για την FUE τεχνική. Κατά την έναρξη της επέμβασης, η δότρια περιοχή αναισθητοποιήθηκε με 0,5% λιδοκαΐνη +  $\frac{1}{200.000}$  επινεφρίνη. Το αναισθητικό εγχύθηκε επιφανειακά και όχι υποδόρια. Για κάθε ασθενή χρησιμοποιήθηκε punch 1,0 mm (εσωτερική διάμετρος) για την εξαγωγή. Στη συνέχεια, ένα ανέπαφο τριχοθυλάκιο εξήχθη από την ινιακή περιοχή της κεφαλής (εικ. 5.6). Χρησιμοποιώντας μια κάμερα υψηλής ανάλυσης, ελήφθησαν USB μικροφωτογραφίες από την επιφάνεια του τραύματος αμέσως μετά την εξαγωγή. Σε απόσταση 2 cm από το πρώτο τραύμα εγχύθηκαν ενδοδερμικά 0,3 ml N/S με βελόνα 30 G, σε μια δότρια περιοχή 1 cm<sup>2</sup>, ώστε να καθετοποιηθεί το τριχοθυλάκιο. Στη συνέχεια, εξήχθη ένα ανέπαφο τριχοθυλάκιο και η ίδια κάμερα χρησιμοποιήθηκε για να λάβει μικροφωτογραφίες του τραύματος. Μετά από 3 ώρες, μικροφωτογραφίες ελήφθησαν από κάθε τραύμα, όταν ο φυσιολογικός ορός είχε διαχυθεί εντελώς.



Εικόνα 5.6: Η εικόνα δείχνει το μέγεθος των οπών στην ΑΕ (δεξιά) και VE (αριστερά) σε απόσταση 2 cm μεταξύ τους στην ινιακή περιοχή του τριχωτού

## Στατιστική ανάλυση και επεξεργασία εικόνας

Το σύστημα FOLLYSIS<sup>®</sup> έχει ένα ειδικά σχεδιασμένο λογισμικό επεξεργασίας εικόνας,<sup>11</sup> που προσαρμόστηκε κατάλληλα ώστε να μετρά με ακρίβεια το μέγεθος της επιφάνειας των τραυμάτων, τόσο στην ΑΕ όσο και στην VE.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεών μας επεξεργάστηκαν στατιστικά για την επιβεβαίωση της θεωρίας μας. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας την έκδοση 19 του SPSS. Οι στατιστικές διαφορές θεωρήθηκαν σημαντικές για  $p < 0,05$ .

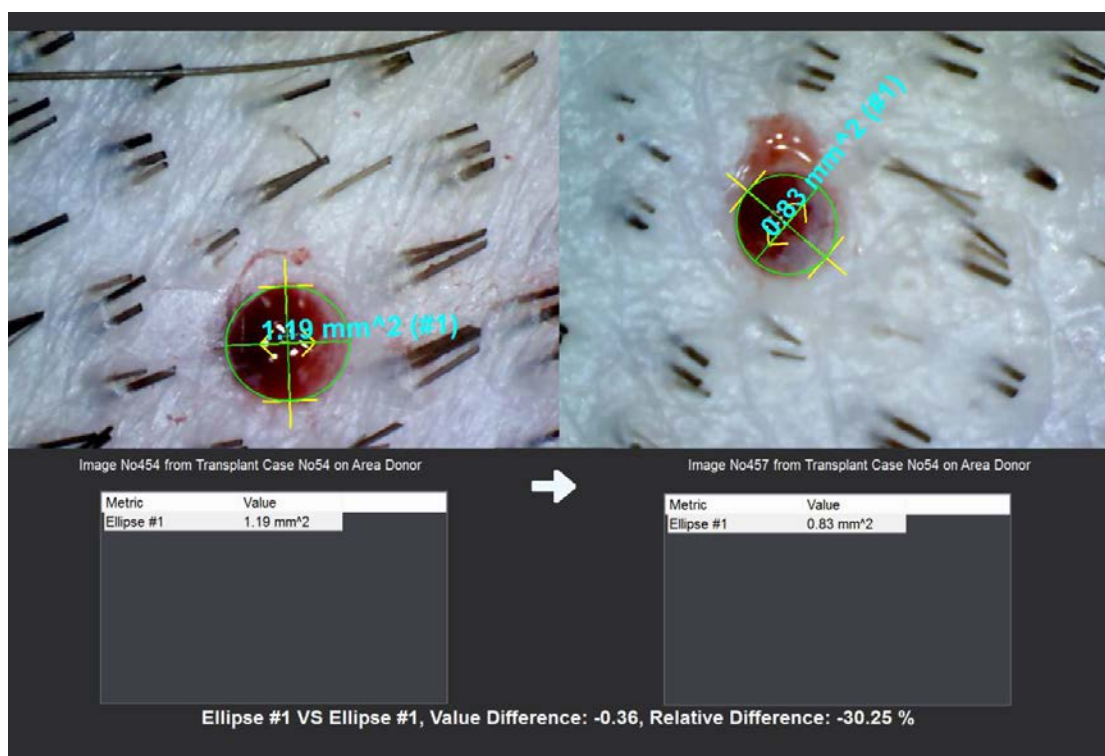
## Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 1.  $SAE_1$  και  $SAE_2$  είναι τα μεγέθη της επιφάνειας του ίδιου τραύματος στην ΑΕ αμέσως και 3 ώρες μετά την εξαγωγή. Ομοίως,  $SVE_1$  και  $SVE_2$  είναι τα μεγέθη επιφάνειας του ίδιου του τραύματος στην VE.

Σε γενικές γραμμές, η σχετική διαφορά μεγέθους εκφράζεται από το κλάσμα  $\frac{Final\ value - Initial\ value}{Initial\ value} \times 100\%$ . (5.4)

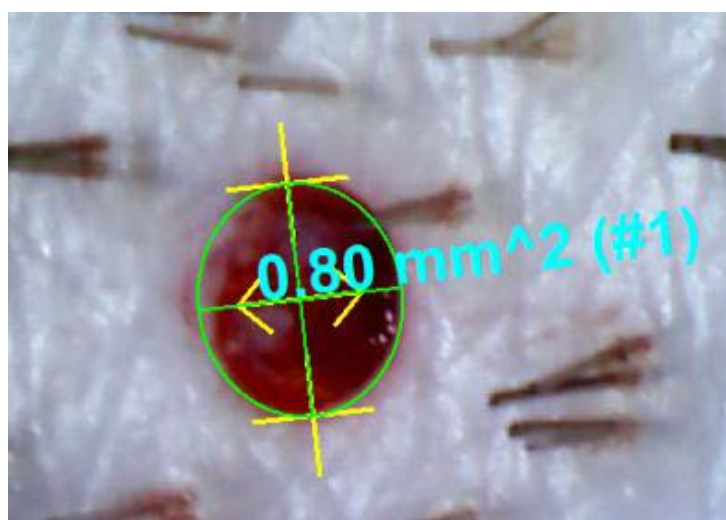
Η ποσοστιαία μείωση της επιφάνειας τραύματος στην ΑΕ και στην VE προσδιορίστηκε με τη βοήθεια αυτού του τύπου. Οι επιφάνειες των τραυμάτων και οι σχετικές διαφορές υπολογίστηκαν με το λογισμικό. Στην εικόνα 5.7 παρουσιάζονται και οι δύο εικόνες του ίδιου τραύματος, που ελήφθησαν με διαφορά χρονικού διαστήματος 3 ωρών.

SAE1 (mm <sup>2</sup> )	SAE2 (mm <sup>2</sup> )	(SAE2- SAE1)/SAE1	Γωνία	SVE1 (mm <sup>2</sup> )	SVE2 (mm <sup>2</sup> )	(SVE2- SVE1)/SVE1	Σχετική Μάζα	Σχετικό Τραύμα
1,30	1,06	-18,46%	48,13	1,02	0,49	-51,96%	390,16%	116,33%
1,50	1,45	-3,33%	40,19	1,04	0,81	-22,12%	429,85%	79,01%
1,63	1,62	-0,61%	36,43	1,28	0,86	-32,81%	534,12%	88,37%
1,31	1,14	-12,98%	47,64	1,19	0,69	-42,02%	302,59%	65,22%
1,26	0,96	-23,81%	50,20	0,99	0,57	-42,42%	285,36%	68,42%
1,18	1,11	-5,93%	55,12	0,97	0,59	-39,18%	279,57%	88,14%
1,54	1,53	-0,65%	38,94	1,22	0,66	-45,90%	586,73%	131,82%
1,52	1,45	-4,61%	39,56	1,05	0,84	-20,00%	425,62%	72,62%
1,73	1,60	-7,51%	34,02	1,25	0,75	-40,00%	681,40%	113,33%
1,25	1,20	-4,00%	50,75	1,02	0,72	-29,41%	277,92%	66,67%
1,30	1,06	-18,46%	48,13	1,00	0,70	-30,00%	273,11%	51,43%
1,23	0,85	-30,89%	51,91	1,08	0,39	-63,89%	351,90%	117,95%
1,37	1,24	-9,49%	44,96	1,05	0,63	-40,00%	394,25%	96,83%
1,30	1,19	-8,46%	48,13	1,08	0,82	-24,07%	261,74%	45,12%
1,39	1,22	-12,23%	44,14	1,19	0,83	-30,25%	303,08%	46,99%
1,51	1,47	-2,65%	39,87	1,09	0,82	-24,77%	436,22%	79,27%
1,23	1,17	-4,88%	51,91	1,15	0,57	-50,43%	331,41%	105,26%
1,20	1,09	-9,17%	53,77	1,06	0,67	-36,79%	250,01%	62,69%
1,31	1,12	-14,50%	47,64	1,06	0,57	-46,23%	359,86%	96,49%
1,37	1,25	-8,76%	44,96	1,07	0,73	-31,78%	342,99%	71,23%
1,34	1,27	-5,22%	46,25	1,02	0,68	-33,33%	357,89%	86,76%
1,34	1,32	-1,49%	46,25	0,96	0,76	-20,83%	332,83%	73,68%
1,43	1,38	-3,50%	42,60	1,14	0,74	-35,09%	406,98%	86,49%
1,58	1,34	-15,19%	37,78	0,98	0,67	-31,63%	532,84%	100,00%
1,37	1,24	-9,49%	44,96	1,00	0,69	-31,00%	359,97%	79,71%
1,26	1,19	-5,56%	50,20	1,00	0,66	-34,00%	305,49%	80,30%
1,28	1,20	-6,25%	49,13	1,06	0,58	-45,28%	361,76%	106,90%
1,49	1,33	-10,74%	40,52	0,96	0,64	-33,33%	492,37%	107,81%
1,54	1,45	-5,84%	38,94	1,07	0,70	-34,58%	524,28%	107,14%
1,26	1,22	-3,17%	50,20	1,02	0,59	-42,16%	350,35%	106,78%
1,59	1,50	-5,66%	37,50	1,17	0,77	-34,19%	525,59%	94,81%
1,17	1,01	-13,68%	55,83	1,06	0,81	-23,58%	182,16%	24,69%
1,45	1,28	-11,72%	41,88	1,20	0,88	-26,67%	326,37%	45,45%
1,35	1,20	-11,11%	45,81	0,93	0,58	-37,63%	402,41%	106,90%
1,76	1,61	-8,52%	33,37	0,95	0,62	-34,74%	858,44%	159,68%



Εικόνα 5.7: Αυτόματη σύγκριση των επιφανειών του ίδιου τραύματος στη VE αμέσως και 3 ώρες μετά, με τη χρήση του συστήματος FOLLYSIS<sup>®</sup>. Καταγράφηκε μείωση της επιφάνειας του τραύματος κατά 30,25%.

Αν και στην VE ένα punch 1,0 mm τοποθετήθηκε κάθετα προς την επιφάνεια του δέρματος, το σχήμα του τραύματος ήταν περισσότερο ελλειπτικό παρά κυκλικό, όπως φαίνεται στην εικόνα 5.8.

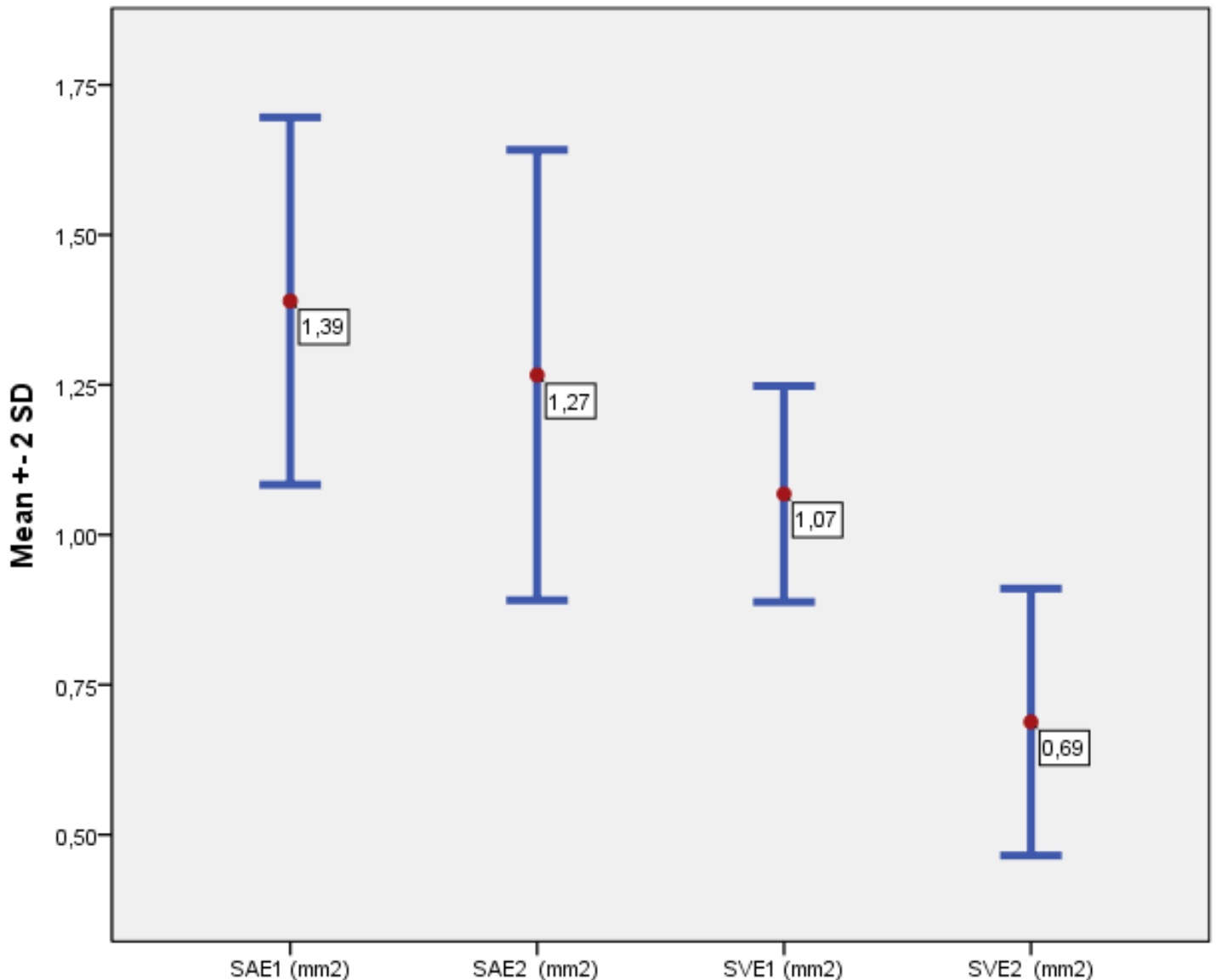


Εικόνα 5.8: Η μικροφωτογραφία δείχνει το ελλειπτικό σχήμα του τραύματος αμέσως μετά την εφαρμογή VE.



Αυτή η μικρή απόκλιση ήταν κοινή σε πολλές από τις μικροφωτογραφίες, επειδή πιθανόν να προκλήθηκε από την ολίσθηση του runch, την τριβή μεταξύ του runch και του δέρματος και την ατελή καθετοποίηση των τριχοθυλακίων.

Αμέσως μετά την εξαγωγή, η μέση τιμή των επιφανειακών τραυμάτων τόσο στην ΑΕ όσο και στην VE ήταν  $1,39 \text{ mm}^2 \pm 0,15$  και  $1,07 \text{ mm}^2 \pm 0,09$  αντίστοιχα. Τρεις ώρες αργότερα, αυτές οι τιμές έγιναν  $1,27 \text{ mm}^2 \pm 0,19$  και  $0,69 \text{ mm}^2 \pm 0,11$ , δείχνοντας σημαντική μείωση στην επιφάνεια του τραύματος στην VE (διάγραμμα 1).

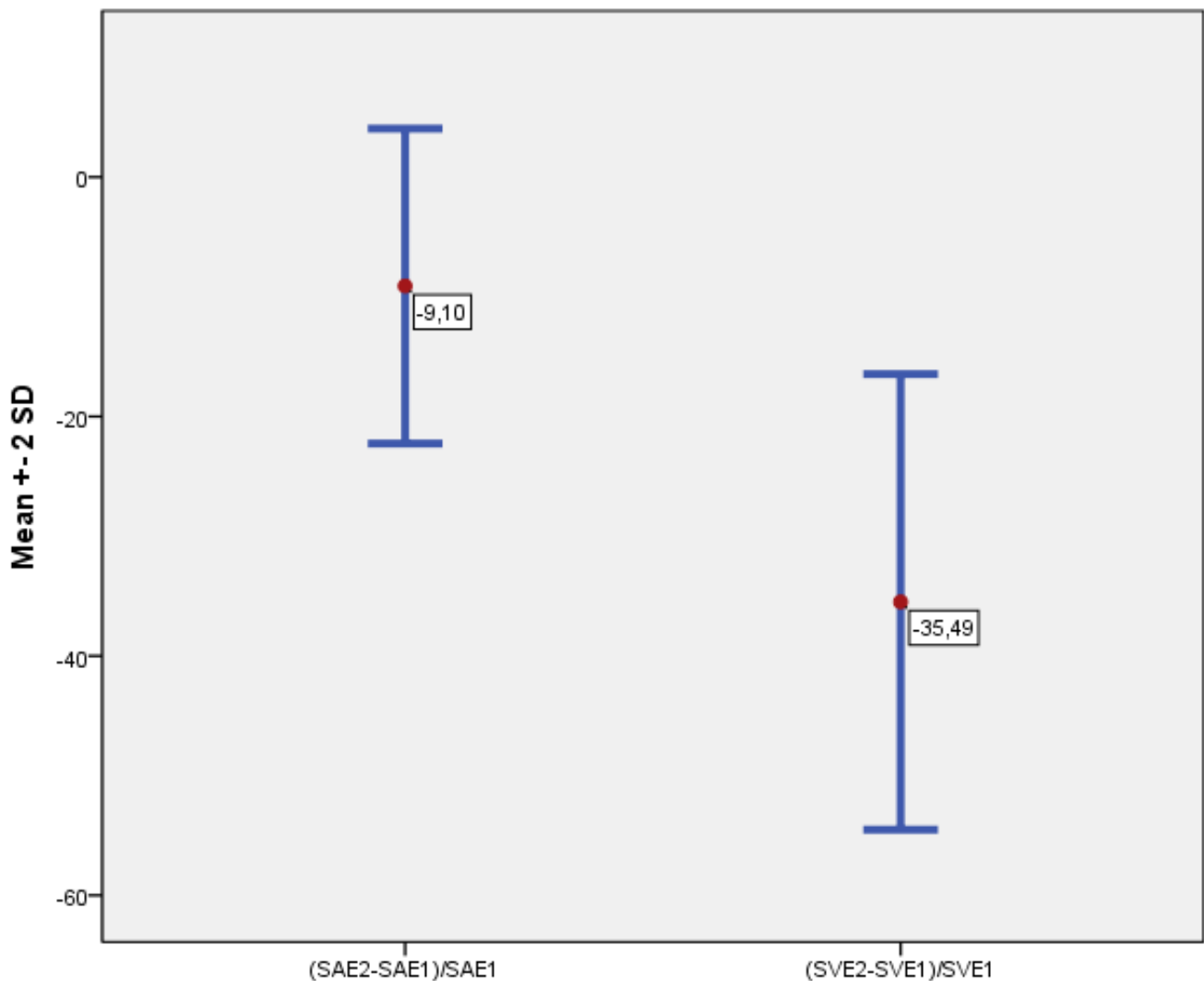


Διάγραμμα 1: Το διάγραμμα δείχνει τις μέσες τιμές και το εύρος των SAE<sub>1</sub>, SAE<sub>2</sub>, SVE<sub>1</sub> και SVE<sub>2</sub>.

Ο πίνακας 2 δείχνει ότι η μέση σχετική διαφορά της επιφάνειας τραύματος στην ΑΕ ήταν  $-9,10\% \pm 6,58$  ενώ στην VE ήταν  $-35,49\% \pm 9,52$  (διάγραμμα 2).

Mean	SAE1 (mm <sup>2</sup> )	SAE2 (mm <sup>2</sup> )	(SAE2- $SAE_1$ )/SAE1	SVE1(mm <sup>2</sup> )	SVE2(mm <sup>2</sup> )	(SVE2-SVE1)/SVE1
Values	1.39	1.27	-9.10%	1.07	0.69	-35.49%
Std.Dev	0.15	0.19	6.58	0.01	0.11	9.52

Πίνακας 2: Μέσες τιμές των SAE<sub>1</sub>, SAE<sub>2</sub>, (SAE1-SAE2) / SAE1, SVE1, SVE2, (SVE1-SVE2)/SVE1.



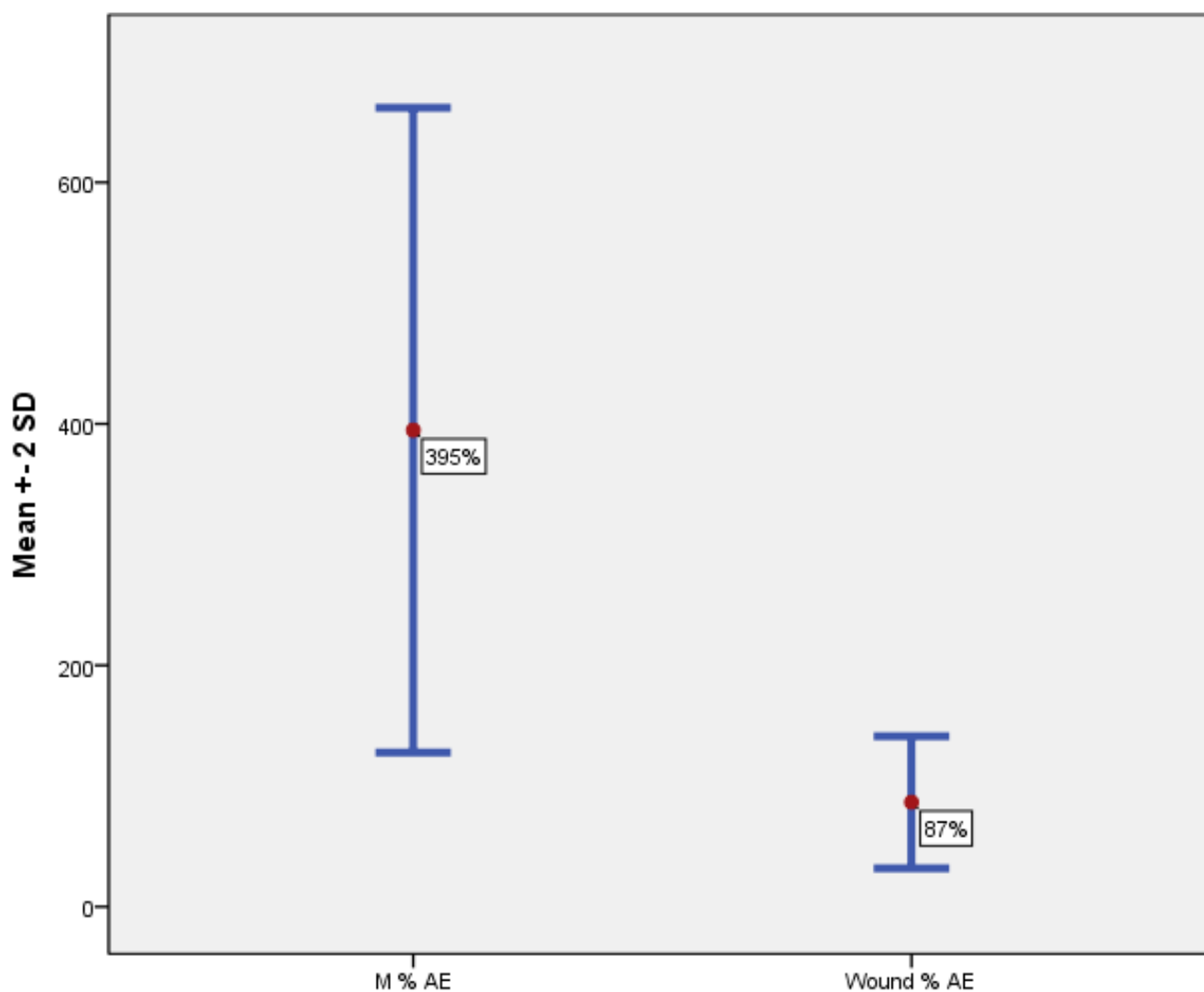
Διάγραμμα 2: Οι μέσες τιμές και το εύρος των (SAE2 - SAE1) / SAE1 και (SVE2 - SVE1) / SVE1 .

Για να συγκριθούν αποτελεσματικά το μέγεθος της επιφάνειας του τραύματος στην ΑΕ με αυτό της VE, υπολογίσαμε τη σχετική διαφορά μεταξύ των επιφανειών των τελικών τραυμάτων στην ΑΕ και στην VE αντίστοιχα, όταν το N/S είχε εντελώς απομακρυνθεί. Οι σχετικές διαφορές κυμάνθηκαν από 24,69% έως 159,68%. Συνδυάζοντας όλες τις σχετικές διαφορές για όλους τους ασθενείς, είχαμε ως αποτέλεσμα μια συνολική σχετική διαφορά  $87\% \pm 27\%$ . Αυτό σημαίνει ότι η μέση

επιφάνεια του τραύματος στην ΑΕ είναι 87% μεγαλύτερη απ' ό,τι στην VE. Επιπλέον, η γωνία μεταξύ του runch και της επιφάνειας του δέρματος στην ΑΕ υπολογίστηκε για κάθε περίπτωση. Το εύρος γωνίας ήταν από 33,37° μέχρι 55,83°, με μέση τιμή 45,07°. Μετά τον υπολογισμό της γωνίας z, το ποσοστό του δέρματος που αφαιρέθηκε στην ΑΕ σε σχέση με την VE προσδιορίστηκε όπως στην εξίσωση 5.1. Στον πίνακα 3 καταγράφεται ότι ο μέσος όρος της μάζας δέρματος που αφαιρέθηκε στην ΑΕ ήταν 395% ± 133% μεγαλύτερος σε σχέση με την VE (διάγραμμα 3).

Mean Values	Relative Mass	Relative Wound
	395%	87%
Std. Dev.	133%	27%

Πίνακας 3: Μέσες τιμές του ποσοστού της Σχετικής Μάζας και του Σχετικού Τραύματος.



Διάγραμμα 3: Η μέση τιμή της μάζας που αφαιρέθηκε στην ΑΕ είναι 395% μεγαλύτερη από αυτή στην VE, ενώ η μέση τιμή της επιφάνειας του τραύματος στην ΑΕ είναι 87% μεγαλύτερη από ό,τι στην VE.

Όλα τα δεδομένα αναλύθηκαν με την εφαρμογή ανεξάρτητου δείγματος t-test και βρέθηκε ότι  $p=0,000<0,05$ . Εξαιτίας αυτού, υπάρχει μια στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων τιμών με 95% διάστημα εμπιστοσύνης των διαφορών.

## Συζήτηση

Σύμφωνα με τον Unger,<sup>12</sup> ένας τρόπος για να μετρηθεί το τραύμα στη δότρια περιοχή, που προκαλείται τόσο από την FUE όσο και από την strip μέθοδο, είναι το συνολικό μήκος της τομής. Ωστόσο, ο Harris,<sup>13</sup> αντιτιθέμενος σε αυτό, πρότεινε ότι ο όγκος του ιστού που αφαιρείται αντανακλά καλύτερα το τραύμα που προκαλείται κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Συγκεκριμένα, υπολόγισε ότι μια FUE επέμβαση 500 μοσχευμάτων προκαλεί ένα τραύμα, το οποίο είναι 20% μικρότερο από μια λωρίδα που δημιουργείται με τη χρήση της strip μεθόδου για τη συγκέντρωση του ίδιου αριθμού μοσχευμάτων.

Στον υπολογισμό του, υπέθεσε ότι ο όγκος του ιστού που αφαιρέθηκε από το runch είναι ίσος με τον όγκο του κυλίνδρου του runch το οποίο τοποθετείται κάθετα προς την επιφάνεια του δέρματος. Αυτή η υπόθεση είναι σωστή μόνο για την VE.

Στην παρούσα μελέτη, εφαρμόζοντας ακριβέστερα μαθηματικά μοντέλα και με τη χρήση της σύγχρονης τεχνολογίας, έχουμε δείξει ότι το τραύμα στη δότρια περιοχή μπορεί να υπολογιστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια από ποτέ, λαμβάνοντας το σωστό όγκο του ιστού σε συνδυασμό με την ακριβή ποσότητα της μάζας του ιστού που αφαιρέθηκε από το runch. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το βάθος του ιστού είναι το ίδιο και στις δύο, AE και VE, στην AE ο τελικός όγκος του τραύματος είναι 87% μεγαλύτερος από τον τελικό όγκο του τραύματος στην VE, ενώ η μάζα του ιστού που εξάγεται στην AE είναι 394% περισσότερη από ό,τι στην VE.

Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων απέδειξε ότι η τιμή της τυπικής απόκλισης των μέσων τιμών του ποσοστού της μάζας που αφαιρέθηκε και του ποσοστού της επιφάνειας του τραύματος στην AE είναι σχετικά υψηλή. Μια καλή εξήγηση γι' αυτό είναι ότι η ελαστικότητα του δέρματος ποικίλλει σημαντικά από άτομο σε άτομο, ανάλογα με την ηλικία, το φύλο, το πάχος του δέρματος και τον αριθμό προηγούμενων επεμβάσεων. Ας σκεφτούμε την ακόλουθη περίπτωση.

Ένας μεγαλύτερος σε ηλικία ασθενής, με εκτεταμένες ουλές στη δότρια περιοχή του, έχει λιγότερη ελαστικότητα δέρματος από έναν νεότερο ασθενή, ο οποίος δεν έχει στο παρελθόν υποβληθεί σε καμία επέμβαση μεταμόσχευσης μαλλιών. Είναι λογικό να υποθέσουμε ότι εγχύοντας ενδοδερμικά το ίδιο ποσό φυσιολογικού ορού ανά  $\text{cm}^2$  δότριας ζώνης, το τέντωμα του δέρματος είναι πιο έντονο σε νεότερους ασθενείς από ό,τι σε ασθενείς μεγαλύτερης ηλικίας. Έτσι, μετά την αφαίρεση ενός ανέπαφου τριχοθυλακίου και όταν ο φυσιολογικός ορός έχει διαχυθεί πλήρως, η συρρίκνωση του δέρματος είναι πολύ μεγαλύτερη, καθιστώντας την επίδραση της VE στο εναπομένον τραύμα πιο αισθητή. Ταυτόχρονα, η μάζα που αφαιρείται από το runch είναι πολύ λιγότερη, κάτι το οποίο ελαχιστοποιεί περαιτέρω τη βλάβη στη δότρια ζώνη.

Αναλύοντας τα αποτελέσματα από πραγματικές περιπτώσεις στη μελέτη μας, παρόμοια με όσα περιεγράφησαν πάρα πάνω, βρήκαμε έναν ασθενή, 49 χρόνων, ο οποίος είχε ήδη υποβληθεί σε 3 επεμβάσεις strip, όπου το τραύμα στην VE είχε μειωθεί κατά 23%. Η σχετική διαφορά μεταξύ του τελικού τραύματος στην ΑΕ και VE ήταν 24,69% και η μάζα που αφαιρέθηκε στην ΑΕ ήταν μόνο 49,38% περισσότερο από ό,τι στην VE. Ωστόσο, σε ασθενή, ο οποίος ήταν 23 ετών, με φυσιολογική δότρια ζώνη, οι αντίστοιχες τιμές ήταν 34,74%, 139,68% και 858,44% αντίστοιχα (πίνακας 4).

Age	Previous procedures	(SVE2-SVE1)/SVE1	Relative Wound	Relative Mass
49	3	23%	24.69%	49.38%
23	0	34.74%	139.68%	858.44%

Πίνακας 4: Δύο χαρακτηριστικές κλινικές περιπτώσεις.

Αυτό δείχνει ότι η VE είναι σημαντικά πιο ευεργετική για τους ασθενείς χωρίς ουλές στη δότρια περιοχή σε σχέση με ασθενείς οι οποίοι είχαν υποβληθεί σε παλαιότερες επεμβάσεις, που παρουσίαζαν ορισμένου βαθμού ουλοποίηση και κατά συνέπεια αδυναμία του δέρματος να τεντώνεται εύκολα αποκρινόμενο στο στρες το οποίο προκαλείται από την ενδοδερμική έγχυση φυσιολογικού ορού.

Ως εκ τούτου, η μεθοδολογία μας έχει αποδείξει ότι η έγχυση φυσιολογικού ορού πριν από την εξαγωγή έχει ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση του τραυματισμού της δότριας ζώνης. Επακολούθως, η διαδικασία επούλωσης είναι ταχύτερη, μειώνοντας τον πόνο και τη δυσφορία του ασθενούς.

Βασιζόμενοι στην παραδοχή ότι, όσο υψηλότερο το αρχικό τραύμα τόσο υψηλότερος είναι ο βαθμός ουλοποίησης, τότε μπορούμε να υποθέσουμε ότι η VE, δυνητικά, θα μπορούσε να περιορίσει το σχηματισμό ουλής στη δότρια ζώνη στην FUE. Αυτό συνεπάγεται μία σημαντική βελτίωση στην κατάσταση της δότριας περιοχής, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια μιας μελλοντικής επέμβασης FUE. Είναι γνωστό στους FUE χειρουργούς ότι οποιαδήποτε επέμβαση FUE, μετά από μια μεγάλη επέμβαση που έχει προηγηθεί στο παρελθόν, μπορεί να παρουσιάσει προβλήματα και τεχνικές δυσκολίες, όπως υψηλό transection rate και χαμηλά ποσοστά εξαγωγής. Για να διευκρινιστεί: όταν ο σχηματισμός ουλής ή ίνωσης είναι εκτεταμένος, ασκείται αυξημένη δύναμη τριβής στο punch, προκαλώντας μετατόπιση και υψηλότερο transection rate των τριχοθυλακίων. Το τελευταίο οδηγεί αναπόφευκτα σε περαιτέρω τραυματισμό της δότριας περιοχής. Καθώς γίνονται περισσότερες προσπάθειες για τη συγκέντρωση του επιθυμητού αριθμού μοσχευμάτων, η ίνωση, που ακολουθεί την επούλωση του τραύματος, είναι αυξημένη. Επιπλέον, επειδή το τραύμα στη δότρια περιοχή είναι σωρευτικό, η ανάγκη μείωσης του τραυματισμού της δότριας ζώνης γίνεται επιτακτική.<sup>14</sup>

Θα μπορούσε κανείς να θεωρήσει ότι ο περιορισμός της δημιουργίας ουλώδους ιστού στη δότρια περιοχή, λόγω του ελάχιστου αρχικού τραυματισμού

και της ταχείας επούλωσης, θα μπορούσε να εξαλείψει το φαινόμενο του υποχρωματισμού. Κατά τη γνώμη μας, αυτό συνδέεται περισσότερο με την έλλειψη μελανοκυττάρων, ως συνέπεια της εξαγωγής ακέραιων τριχοθυλακίων, και λιγότερο με το σχηματισμό ουλής, καθώς η έγχυση φυσιολογικού ορού καθιστά τα τριχοθυλάκια περισσότερο κάθετα προς την επιφάνεια του δέρματος, γεγονός που επιτρέπει την ευκολότερη ευθυγράμμιση του runch με τη γωνία έκφυσης των τριχών, με αποτέλεσμα η εξαγωγή να είναι πιο εύκολη και πιο αποτελεσματική. Εκτός από αυτό, η έγχυση φυσιολογικού ορού στο δέρμα και το χόριο κάνει τη σπαργή του δέρματος πιο σταθερή, έτσι ώστε η προς τα κάτω κίνηση του runch να έχει ελάχιστη επίπτωση στη γεωμετρία του τριχοθυλακίου. Το αποτέλεσμα από όλα τα πάρα πάνω είναι η εξαγωγή ανέπαφων τριχοθυλακίων. Ως εκ τούτου, ακόμη κι αν ο τραυματισμός του δέρματος είναι ελάχιστος και ο σχηματισμός ουλής περιορισμένος, η συνολική αφαίρεση του τριχοθυλακίου μπορεί να οδηγήσει σε έλλειψη χρωστικής από τη γύρω περιοχή του λόγω έλλειψης μελανοκυττάρων.<sup>15</sup> Ο μηχανισμός αυτός θα μπορούσε να αποτελεί μια θεωρητική εξήγηση για το ότι ο υποχρωματισμός δεν μειώνεται όταν χρησιμοποιείται η VE. Παρ' όλα αυτά, η ελαχιστοποίηση της ίνωσης καθιστά την εξαγωγή περισσότερο αποδοτική σε μελλοντικά περιστατικά.

Όπως σημειώθηκε πάρα πάνω, ο σκοπός αυτής της μελέτης ήταν να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα της ενδοδερμικής έγχυσης φυσιολογικού ορού στην ελαχιστοποίηση του τραυματισμού της δότριας ζώνης, στην τεχνική FUE. Αυτό επιτεύχθηκε κυρίως με την ακριβή μέτρηση της μείωσης του τραύματος του δέρματος στην VE με τη βοήθεια της προηγμένης επεξεργασίας εικόνας και τη σύγκρισή της με τη μείωση του τραύματος του δέρματος στην AE, η οποία ήταν η ομάδα ελέγχου. Ακόμη κι αν το χρονικό διάστημα των 3 ωρών μεταξύ των μετρήσεων επιλέχθηκε ώστε ο φυσιολογικός ορός να έχει διαχυθεί πριν η φλεγμονώδης διαδικασία γίνει εμφανής, το τραύμα στην AE μειώθηκε απροσδόκητα κατά 9%. Αυτό το αποτέλεσμα οφείλεται κυρίως στο οξύ τραύμα και το επαγόμενο οίδημα.

Συνοψίζοντας, η προαναφερθείσα συζήτηση τόνισε το σημαντικό ρόλο της ενδοδερμικής έγχυσης φυσιολογικού ορού στην επιτυχή μείωση του τραυματισμού που προκλήθηκε στη δότρια περιοχή. Επιπλέον, η σημασία της VE έχει περιγραφεί και εξηγηθεί λεπτομερώς, δείχνοντας ότι τόσο ο γιατρός όσο και ο ασθενής μπορούν να επωφεληθούν από την εφαρμογή της κατά τη διάρκεια του FUE. Συγκεκριμένα, η VE ελαχιστοποιεί το τραύμα στη δότρια ζώνη, ενώ επιτρέπει την ευκολότερη και αποτελεσματικότερη εξαγωγή. Ωστόσο, το πρόβλημα του υποχρωματισμού στη δότρια περιοχή παραμένει και χρειάζεται περαιτέρω έρευνα προτού καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι η VE είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για την αντιμετώπισή του.

# 6

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Στη διατριβή αυτή παρουσιάστηκε αναλυτικά η θετική συμβολή του λογισμικού που αναπτύχθηκε, τόσο στη βελτίωση της τεχνικής FUE όσο και στον τρόπο αξιολόγησης και αντιμετώπισης σημαντικών θεμάτων που σχετίζονται με τη διάγνωση και θεραπεία της τριχόπτωσης. Το FOLLYSIS<sup>®</sup> αποτελεί μια πρώτη ολοκληρωμένη προσπάθεια εφαρμογής της Ιατρικής Φυσικής και υιοθέτησης μεθόδων μοντέρνας τεχνολογίας προς αυτή την κατεύθυνση.

Μέσα από την εκτενή περιγραφή της δομής και λειτουργίας του FOLLYSIS<sup>®</sup> έγινε σαφές πως το λογισμικό αυτό αναλύει με ακρίβεια τις πληροφορίες που σχετίζονται με το πρόβλημα του ασθενούς με τριχόπτωση και μπορεί να προτείνει θεραπεία στον ειδικό ιατρό. Βέβαια, αυτό δεν σημαίνει πως το σύστημα μπορεί ή στοχεύει στο να υποκαταστήσει τον ειδικό ιατρό, του οποίου η κριτική σκέψη και ικανότητα είναι αναντικατάστατες. Αντιθέτως, ο ρόλος του είναι περισσότερο συμβουλευτικός και σκοπεύει να καλύψει τις διαγνωστικές αδυναμίες που υπάρχουν. Έτσι, το κύριο πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο ιατρός στον τομέα της μεταμόσχευσης μαλλιών, δηλαδή η αδυναμία ποσοτικοποίησης της τριχόπτωσης, θεωρούμε ότι αντιμετωπίζεται σε σημαντικό βαθμό. Κι αυτό, διότι με τα υπολογιστικά εργαλεία που διαθέτει το σύστημα παρέχεται η δυνατότητα στον θεράποντα ιατρό να προβεί σε έγκαιρη και ακριβή διάγνωση της τριχόπτωσης, να σχεδιάσει αποτελεσματικά το πλάνο θεραπείας του ασθενούς του και να παρακολουθήσει με ακρίβεια την ανταπόκριση στην εφαρμοζόμενη θεραπεία.

Είναι προφανές ότι σε μια ανταγωνιστική αγορά, όπως αυτή της μεταμόσχευσης μαλλιών, η υιοθέτηση μεθόδων μοντέρνας τεχνολογίας πρέπει να αποτελεί προτεραιότητα για τις σύγχρονες κλινικές και τους ιατρούς που ενδιαφέρονται για την επαγγελματική τους εικόνα καθώς και την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών προς τους ασθενείς τους. Ιδιαίτερα στους νέους ιατρούς το FOLLYSIS<sup>®</sup> προσφέρει ένα ολοκληρωμένο σύστημα διάγνωσης, σχεδιασμού, θεραπείας και παρακολούθησης, και συνεπώς αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την καλύτερη αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων μιας ιδιαίτερα απαιτητικής τεχνικής όπως το FUE. Ειδικότερα, το FOLLYSIS<sup>®</sup> μπορεί να συμβάλει στην ταχύτερη εκπαίδευση των ιατρών που θέλουν να ασχοληθούν με την τεχνική FUE, η οποία χαρακτηρίζεται από μεγάλη καμπύλη εκμάθησης. Επιπλέον, η σταθερή απαίτηση των ασθενών για ιατρούς με υψηλή κατάρτιση, σε συνδυασμό με την αλματώδη διάδοση της τεχνικής σε σύντομο χρονικό διάστημα, καθιστά το FOLLYSIS<sup>®</sup> ένα πολύτιμο εργαλείο στα χέρια ακόμα και έμπειρων ιατρών.

Αξίζει να αναφέρουμε τη σημασία του FOLLYSIS<sup>®</sup> και στον τομέα της έρευνας. Η βάση δεδομένων, την οποία διαθέτει, μπορεί να συμβάλει στην εξαγωγή ενδιαφέροντων και χρήσιμων συμπερασμάτων, ανάλογα με το είδος της καταγραφής των πληροφοριών και τα ερωτήματα του χρήστη. Ο διαρκής

εμπλουτισμός της βάσης δεδομένων στην καθημερινή πράξη με νέες πληροφορίες από τους ασθενείς, σε συνδυασμό με την κατάλληλη επεξεργασία και αξιοποίησή τους, προσφέρει μια μοναδική ευκαιρία να πραγματοποιηθούν περισσότερο αξιόπιστες αναδρομικές ή προοπτικές μελέτες με τρόπο ταχύτερο και αποτελεσματικότερο απ' ό,τι στο παρελθόν.

Το γεγονός ότι το σύστημα είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί αποτελεσματικά και στα δύο είδη τεχνικών, FUE και strip, επιτρέπει σε κάθε ιατρό ειδικό στη μεταμόσχευση να το χρησιμοποιεί και συμβάλλει στη διεξαγωγή αξιόπιστων συγκριτικών μελετών μεταξύ των δύο τεχνικών.

Ο σχεδιασμός του FOLLYSIS<sup>®</sup> είναι τέτοιος που επιτρέπει την εφαρμογή του και σε άλλα είδη επεμβάσεων, όπως το Body Hair Transplantation (BHT).<sup>1,2</sup> Η χρήση για παράδειγμα τριχοθυλακίων από τα γένια κερδίζει διαρκώς σε δημοφιλία ως μια εναλλακτική αποθήκη τριχοθυλακίων σε ασθενείς με περιορισμένων δυνατοτήτων φυσιολογική δότρια περιοχή. Η ιδιαιτερότητα της τεχνικής έγκειται πρωτίστως στην αξιοποίηση μονότριχων τριχοθυλακίων από το πρόσωπο, που έχουν όμως σημαντικά μεγαλύτερο πάχος από τα στελέχη τριχών της φυσιολογικής δότριας ζώνης. Παρ' όλα αυτά, το τραύμα στο δέρμα του προσώπου από το punch μπορεί να οδηγήσει σε εμφάνιση πολυάριθμων ουλών στο δέρμα, γεγονός που δεν είναι τόσο αισθητικά αποδεκτό όσο στη δότρια ζώνη της κεφαλής.

Το φαινόμενο έχει περιγραφεί εκτενώς σε προηγούμενο κεφάλαιο. Η συσχέτιση του πάχους των τριχών από το γένι με το προσδοκώμενο αποτέλεσμα της αύξησης της πυκνότητας, πρέπει να αξιολογείται με γνώμονα τον ελάχιστο τραυματισμό του δέρματος. Το FOLLYSIS<sup>®</sup> λοιπόν παίζει σημαντικό ρόλο στην ορθολογικότερη εκτίμηση αυτής της ιδιαίτερης εφαρμογής του FUE.

Το σχέδιο και η κατανομή μιας μεταμόσχευσης πρέπει να λαμβάνει υπόψη τη συνεχιζόμενη τριχόπτωση και το πώς θα επηρεάσει την πυκνότητα και την αισθητική εμφάνιση του εμφυτεύματος.

Το FOLLYSIS<sup>®</sup> διαθέτει ένα πρωτοποριακό σύστημα σχεδιασμού της χειρουργικής επέμβασης, που πιστεύουμε ότι παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα, πάνω στα οποία στηρίζεται ο ιατρός ώστε να προσφέρει στον ασθενή ένα άριστο αισθητικό αποτέλεσμα. Ο σχεδιασμός αυτός προβλέπει τον ελάχιστο αριθμό των τριχοθυλακίων που χρειάζεται να μεταφερθούν στην πάσχουσα περιοχή και συνδράμει στη βέλτιστη κατανομή τους στις διάφορες υποπεριοχές της πάσχουσας περιοχής, ώστε το τελικό αποτέλεσμα να έχει σχετική ομοιογένεια και φυσικότητα. Ένας αστάθμητος παράγοντας, που μπορεί να επηρεάσει τη διάρκεια του αποτελέσματος, είναι η εξελισσόμενη τριχόπτωση.

Είναι λογικό να θεωρήσει κανείς πως η τριχόπτωση, που επηρεάζει περιοχές του τριχωτού, που στη χρονική στιγμή που γίνεται η ανάλυση οι χαρακτηριστικές παράμετροι του τριχωτού (πυκνότητα, μέση τιμή τριχοθυλακίων, λόγος κλπ.) έχουν φυσιολογικές τιμές, ενδέχεται να υποβαθμίσει το όποιο κοσμητικό αποτέλεσμα θα επιτύχει η μεταμόσχευση. Η χρονική διάρκεια της σταθερότητας του αποτελέσματος εξαρτάται από το ρυθμό της εξελισσόμενης τριχόπτωσης.

Η εμπειρία δείχνει πως όσο μικρότερη είναι η ηλικία του ασθενούς, που υποβάλλεται σε μεταμόσχευση για την αποκατάσταση ενός δεδομένου



προβλήματος, τόσο πιο γρήγορη θα είναι η εξέλιξη της τριχόπτωσης και νέα συνεδρία μεταμόσχευσης θα χρειαστεί ώστε να αποκατασταθεί το ανακύπτον πρόβλημα. Σε άλλες ηλικιακές ομάδες, βέβαια, η τριχόπτωση παρουσιάζει διαφορετική συμπεριφορά, οπότε υπάρχει μεγάλη δυσκολία κάποιες φορές να επιτευχθεί μια ασφαλής πρόβλεψη. Ο ρυθμός της τριχόπτωσης, λοιπόν, είναι μια βασική παράμετρος, που πρέπει να προσδιορίζεται όσο γίνεται ακριβέστερα. Η αρνητική επίδραση μιας τέτοιας εξέλιξης συνίσταται, αφ' ενός, στην υποβάθμιση του αισθητικού αποτελέσματος σε σύντομο χρονικό διάστημα, που οδηγεί στην ανάγκη να υποβληθεί ο ασθενής σε νέα επέμβαση, κι αφ' ετέρου, μια άλλη διάσταση του προβλήματος που ανακύπτει είναι πως ένας λανθασμένος σχεδιασμός στην πρώτη επέμβαση, όπως για παράδειγμα μια χαμηλή σχετικά γραμμή πρόσθιας τριχοφυΐας ή υπερβολές στην πυκνότητα, ενδέχεται να οδηγήσει σε αδυναμία αποκατάστασης μελλοντικών προβλημάτων, λόγω μεγάλης επιβάρυνσης ή κατασπατάλησης της δότριας περιοχής. Μια εκτίμηση του πόσες συνεδρίες θα χρειαστούν για ένα βραχυπρόθεσμο ή μακροπρόθεσμο αποτέλεσμα πρέπει να εκτιμηθεί στην αρχική συμβουλευτική και να κατευθύνει το σχεδιασμό.

Το FOLLYSIS<sup>®</sup> διαθέτει υπολογιστικά εργαλεία, που έχουμε δείξει πως βελτιώνουν την ακρίβεια της τριχοσκόπησης. Παρ' όλα αυτά θεωρούμε πως είναι αναγκαίος ένας ακόμα πιο ακριβής τρόπος εκτίμησης και ποσοτικοποίησης του ρυθμού της τριχόπτωσης, που να ενσωματώνεται στους υπολογισμούς του αρχικού σχεδιασμού της επέμβασης. Μια τέτοια διαδικασία απαιτεί τον προσδιορισμό της μεταβολής της ποσότητας της τριχών σε μια επιλεγμένη περιοχή και αποτελεί ένα από τα ερευνητικά θέματα τα οποία, αν επιλυθούν, θα ενισχύσουν περαιτέρω την αξιοπιστία και ακρίβεια του FOLLYSIS<sup>®</sup>.

Επιπλέον, όμως, στη μελέτη αυτή, έγινε προσπάθεια να περιγραφούν με μαθηματικά τα στάδια της τεχνικής FUE καθώς και να μοντελοποιηθούν και να εκφραστούν με εξισώσεις όροι όπως το transection rate και το μέγεθος του τραυματισμού της δότριας ζώνης. Παράλληλα, η εφαρμογή της Φυσικής στο FUE κατάφερε να ερμηνεύσει το σύνθετο φαινόμενο της αποτυχίας της τεχνικής στην εξαγωγή ακέραιων τριχοθυλακίων και να εξηγήσει πώς μπορεί να επιτευχθεί μια επιτυχημένη εξαγωγή. Το FOLLYSIS<sup>®</sup> επιτρέπει να αξιολογηθεί η γωνία απόκλισης μεταξύ των στελεχών των τριχών ενός τριχοθυλακίου και να εκτιμηθεί το κατάλληλο μέγεθος του runch που πρέπει να χρησιμοποιηθεί για μια αποδοτικότερη και ασφαλέστερη διαδικασία εξαγωγής.

Είναι σαφές πως η μαθηματική περιγραφή και ερμηνεία της μεθόδου καθιστά πιο εύχρηστο και αποδοτικό το σχεδιασμό εργαλείων, που θα κάνουν το FUE μια περισσότερο αποτελεσματική και ευρύτερα αποδεκτή τεχνική. Έτσι, ένα μηχανικό runch είναι πιο αποτελεσματικό στο να κόψει την ανώτερη στιβάδα του δέρματος χωρίς να προκαλέσει γεωμετρική παραμόρφωση των τριχοθυλακίων. Αυτό συμβαίνει διότι η εφαπτομενική δύναμη, υπεύθυνη για την περιστροφή του runch, είναι πιο μεγάλη και συνεπώς πιο αποτελεσματική στη διάτμηση του δέρματος στο πρώτο στάδιο της εξαγωγής. Επιπλέον, η μαθηματική απαίτηση για ελαχιστοποίηση του βαθμού της συστρόφης, στην οποία υπόκεινται τα τριχοθυλάκια και η οποία ευθύνεται για τον τραυματισμό τους (κάταγμα) κατά την περιστροφή του runch, οδηγεί στο συμπέρασμα πως η αύξηση διαστάσεων του κυλίνδρου του runch,

αμέσως με την είσοδο του μοσχεύματος στον αυλό του, μειώνει δραστικά<sup>[EM4]</sup> την πιθανότητα αυτό να προσκολληθεί στο εσωτερικό τοίχωμα και να διατμηθεί.

Το ζήτημα του τραυματισμού της δότριας ζώνης ερμηνεύτηκε διεξοδικά και εκτιμούμε πως αποτελεί ένα επιτυχημένο συνδυασμό της χρήσης κατάλληλης μαθηματικής μεθοδολογίας μαζί με την εφαρμογή του υπολογιστικού συστήματος FOLLYSIS<sup>®</sup> στην ελαχιστοποίηση του τραυματισμού και την αποφυγή εκτεταμένης ινώσης στη δότρια περιοχή. Η τεχνική Vertical Extraction αποδείχτηκε ότι μειώνει σημαντικά τον τραυματισμό στη δότρια ζώνη και αποτελεί από μόνη της μια έμπρακτη επιβεβαίωση στην κατεύθυνση της βελτιστοποίησης της τεχνικής FUE.

Ολοκληρώνοντας τις σκέψεις αυτές αξίζει να αναφέρουμε ότι, στα τρία χρόνια εκπόνησης της ερευνητικής αυτής προσπάθειας, η ακαδημαϊκή της απόδοση συνοψίζεται στα ακόλουθα: 4 παρουσιάσεις σε παγκόσμια συνέδρια (2 προφορικές και 2 με μορφή poster), συμμετοχή στη συγγραφή ενός κεφαλαίου σε βιβλίο μεταμόσχευσης με την τεχνική FUE και δύο δημοσιεύσεις σε διεθνή περιοδικά:

1. G. Zontos, G. Nikiforidis: *How the outgrowth of the hair follicles influences the injury on the donor area in FUE. A mathematical approach to the problem*, International Society of Hair Restoration Surgery, 20th Annual Meeting, 2013, Bahamas.
2. G. Zontos, G. Nikiforidis: *How Image Processing in FUE harvesting can be used in calculating the reduction of skin trauma by injecting normal saline*, International Society of Hair Restoration Surgery, 21st Annual Meeting, 2013, San Francisco.
3. G. Zontos, P. Theoharakis, G. Nikiforidis: *A Novel Integrated Database System for Follicular Units Transplant, Based on Micro-Photos Image Analysis and Statistical Inference*, 22nd International Society of Hair Restoration Surgery Annual Meeting, 2014, Kuala Lumpur - Malaysia (καλύτερη επιστημονική εργασία με πρακτική εφαρμογή).
4. G. Zontos, G. Nikiforidis: *A scientific description of transection rate in FUE: reasons and solutions*, International Society of Hair Restoration Surgery Annual Meeting, 23rd Annual Meeting, 2015, Chicago.
5. Zontos G.: *The physics of follicular unit extraction*, στο: Lam S., Williams K., *Hair transplant 360*, 2015, p.45.
6. G. Zontos, P. Rose, G. Nikiforidis: *A mathematical proof of how the outgrowth angle of the hair follicles influences the injury to the donor area in FUE harvesting*, *Dermatologic Surgery*, October 2014, Volume 40, Issue 10.
7. G. Zontos, K. Williams, G. Nikiforidis: *Minimizing injury to the donor area in FUE harvesting*, *Journal of Cosmetic Dermatology* (accepted).

Η επιλογή του FOLLYSIS<sup>®</sup> ως βασικού εργαλείου έρευνας, υπό την αιγίδα της ISHRS, για την αξιολόγηση της θεωρίας περί της αναγέννησης των τριχοθυλακίων ή μέρους αυτών από εναπομείναντα τμήματα του τριχοθυλακίου κατά τη διάρκεια

της εξαγωγής, αποτελεί μία ακόμα απόδειξη της σπουδαιότητάς του στη βελτιστοποίηση της τεχνικής FUE.

Η μεγαλύτερη, όμως, επιβράβευση και ηθική ικανοποίηση της όλης προσπάθειας αποτελεί η διάθεση του FOLLYSIS<sup>®</sup> ως ολοκληρωμένο εμπορικό προϊόν, που αποδεικνύει έμπρακτα ότι μπορεί να συνδράμει τον ιατρό της μεταμόσχευσης μαλλιών αποτελεσματικά στο κλινικό του έργο.



# ΜΕΡΟΣ Γ΄

## Παραρτήματα

---



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β΄

Έστω ότι κάθε στέλεχος τρίχας της λήπτριας ζώνης είναι  $\alpha$  φορές πιο λεπτό από εκείνο της δότριας, τότε κάθε 1 τρίχα δότριας αντιστοιχεί σε  $\alpha^2$  τρίχες της λήπτριας για το ίδιο μήκος, επειδή το πάχος της τρίχας για το ίδιο μήκος είναι ανάλογο του τετραγώνου της ακτίνας.

Έστω  $D_r$  είναι η πυκνότητα μάζας της λήπτριας ζώνης για το ίδιο μήκος τρίχας,  $\lambda_r$  ο λόγος της,  $g_r$  ο αριθμός των τριχοθυλακίων ανά  $\text{cm}^2$  και  $h_r$  ο αριθμός των τριχών ανά  $\text{cm}^2$ , τότε είναι φανερό πως έχουμε:

$$D_r = h_r = \lambda_r g_r \quad (1)$$

$$\text{Ομοίως για τη δότρια είναι: } D_d = \lambda_d g_d = h_d \quad (2)$$

Με βάση τα παραπάνω και μετά από κανονικοποίηση των τριχών δότριας και λήπτριας προκύπτει:  $D_r = \frac{h_r}{h_d} \cdot \frac{D_d}{a^2}$ , όπου ορίζουμε ως  $k = \frac{h_r}{h_d}$ . Άρα  $D_r = k \frac{D_d}{a^2}$  (3)

Αν πρέπει να αυξήσουμε την πυκνότητα στη λήπτρια στο 50% της μάζας της δότριας, η μεταβολή στην πυκνότητα είναι:

$$\Delta D = \frac{D_d}{2} - D_r = \frac{D_d}{2} - k \cdot \frac{D_d}{a^2} = \frac{a^2 \cdot D_d - 2k D_d}{2a^2} = \left( \frac{a^2 - 2k}{2a^2} \right) \cdot D_d \quad (4)$$

Από την (4) συμπεραίνουμε πως η αύξηση της πυκνότητας στη λήπτρια ζώνη πρέπει να είναι το  $\frac{a^2 - 2k}{2a^2} \cdot 100\%$  της πυκνότητας της δότριας ζώνης ανά  $\text{cm}^2$ .

$$\text{Όμως } D_d = h_d = \lambda_d g_d \quad (5)$$

Έστω ότι ο λόγος εξαγωγής είναι  $\lambda_e$  και τα μοσχεύματα που εξήχθησαν  $g_e$ , τότε για δεδομένο εμβαδόν επιφάνειας της λήπτριας περιοχής  $S_r$  θα χρειαστούμε να εξάγουμε  $h_e = \left[ \frac{a^2 - 2k}{2a^2} \right] \cdot D_d S_r$  τρίχες. Αλλά  $h_e = \lambda_e g_e = \left[ \frac{a^2 - 2k}{2a^2} \right] \cdot D_d S_r$  ή

$$g_e = \frac{\left[ \frac{a^2 - 2k}{2a^2} \right] \cdot D_d S_r}{\lambda_e} = \frac{(a^2 - 2k) \cdot D_d S_r}{2a^2 \lambda_e} \quad (6)$$

$$\text{οπότε έχουμε: } (6) \stackrel{(5)}{\Rightarrow} g_e = \frac{(a^2 - 2k) \cdot \lambda_d \cdot g_d}{2a^2 \lambda_e \text{cm}^2} \cdot S_r \quad (7)$$

$$\text{Όμως έχουμε ορίσει } \lambda_\rho = \frac{\lambda_e}{\lambda_d} \quad (8)$$

$$\text{Συνεπώς } g_e = \frac{(a^2 - 2k) \cdot g_d \cdot S_r}{2a^2 \lambda_p} \Rightarrow \frac{g_e}{S_r} = \frac{(a^2 - 2k) \cdot g_d}{2a^2 \lambda_p} \quad (9)$$

Η (9) υπολογίζει την πυκνότητα των μοσχευμάτων ανά τετραγωνικό εκατοστό λήπτριας περιοχής που πρέπει να προσθέσουμε ώστε να πετύχουμε το καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα.

Αν  $\lambda_p > 1$ , τότε μικραίνει ο αριθμός των μοσχευμάτων που πρέπει να προστεθούν περιορίζοντας τις απώλειες λόγω τραυματισμού των υπαρχόντων μοσχευμάτων της λήπτριας περιοχής.

Αξίζει να τονίσουμε ότι η (9) στην προηγούμενη μορφή της γράφεται:

$$g_e = \frac{(a^2 - 2k) \cdot \lambda_d \cdot g_d \cdot s_r}{2a^2 \lambda_e} \Rightarrow g_e \lambda_e = \frac{(a^2 - 2k) \cdot \lambda_d \cdot g_d \cdot s_r}{2a^2} = h_e \leq 50\% h_d$$

Αυτή είναι μια βασική αρχή που πρέπει να τηρείται ώστε να μην προκληθεί αραίωση της δότριας ζώνης.

Δεν μπορούμε λοιπόν να αφαιρέσουμε απεριόριστο αριθμό τριχών ή μοσχευμάτων. Η τιμή αυτή πρέπει να υπολογίζεται για κάθε ασθενή και να αποτελεί σημείο αναφοράς για μελλοντικά περιστατικά του ίδιου ασθενούς.

Στην περίπτωση που η λήπτρια ζώνη είναι εντελώς φαλακρή τότε η πυκνότητα  $\frac{g_e}{S_r}$  των μοσχευμάτων που πρέπει να προστεθούν υπολογίζεται από το όριο της (9) όταν  $a \rightarrow \infty$ .

$$\text{Δηλαδή } \frac{g_e}{S_r} = \lim_{a \rightarrow \infty} \frac{(a^2 - 2k) \cdot g_d}{2a^2 \lambda_p} = \frac{g_d}{\lambda_p} \cdot \lim_{a \rightarrow \infty} \frac{a^2 - 2k}{2a^2} = \frac{g_d}{\lambda_p} \cdot \lim_{a \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{2} - \frac{k}{a^2} \right) = \frac{g_d}{2\lambda_p}, \text{ το}$$

οποίο είναι και το αναμενόμενο.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ΄

Ο φυσιολογικός ορός δεν αυξάνει μόνο τις διαστάσεις της επιδερμίδας αλλά και το πάχος του δέρματος, με αποτέλεσμα να αλλάζει παροδικά η πυκνότητά του μέχρι αποδρομής του προκαλούμενου αυτού οιδήματος. Συνεπώς αλλάζει ο όγκος του δέρματος «αραιώνοντας» τη μάζα του ιστού που περιέχεται σε συγκεκριμένο τεμάχιο δέρματος, κι έτσι μπορούμε να ισχυριστούμε ότι:

Έστω  $m_o$  η αρχική μάζα, που περιέχεται στον κύλινδρο που κόβει το punch ακτίνας  $r_o=0,5$  mm. Ας είναι  $d_o$  η αρχική πυκνότητα του δέρματος (πριν την έγχυση φυσιολογικού ορού), τότε  $m_o = d_o \cdot v_o = d_o \pi r_o^2 \cdot x_o$ , όπου  $x_o$  το αρχικό πάχος του δέρματος.

Έστω ότι το punch έκοψε μάζα δέρματος  $m_x$  μετά την έγχυση φυσιολογικού ορού. Είναι λογικό ότι  $m_x < m_o$ .

Η μάζα παραμένει  $m_o - m_x = d_o \cdot v'$  **(1)**, όπου  $v'$  είναι ο όγκος που κατανέμεται η υπολειπόμενη μάζα δέρματος, που δεν είναι άλλος από τμήμα κυλινδρικού δακτυλίου που προκύπτει από τη διαφορά  $v_o - v_x$  **(2)**

Συνεπώς  $(1) \stackrel{(2)}{\Rightarrow} m_o - m_x = d_o (v_o - v_x) = d_o (\pi r_o^2 - \pi r_x^2) \cdot x_o$  διότι το δέρμα επανέρχεται σταδιακά στο αρχικό του πάχος  $x_o$ , αλλά

$$m_o = d_o \cdot v_o = d_o \pi r_o^2 \cdot x_o$$

Διαιρώντας κατά μέλη βρίσκουμε:

$$\frac{m_o - m_x}{m_o} = 1 - \frac{r_x^2}{r_o^2}$$

που δεν άλλο από το ποσοστό της μάζας που διεσώθη, ή  $\frac{m_x}{m_o} = \frac{r_x^2}{r_o^2}$  το ποσοστό της μάζας του ιστού του δέρματος που αφαιρέθηκε.

Είναι λογικό, ο τραυματισμός του δέρματος να είναι όχι  $s_o = \pi r_o^2 = \pi \cdot 0,5^2 = 0,785 \text{ mm}^2$ , αλλά  $s_x = \pi r_x^2$  μικρότερο του  $0,785 \text{ mm}^2$ .

Γενικά, το τέντωμα του δέρματος προκαλεί συρρίκνωση της οπής μετά από την αποδρομή του φυσιολογικού ορού, μικρότερη ιστική βλάβη, επιτάχυνση της επούλωσης και μείωση της ουλοποίησης.

Αν προσδιοριστεί το  $r_x$ , τότε μπορούμε να εκτιμήσουμε την ιστική βλάβη και το μέγεθος του επιφανειακού τραύματος. Η επεξεργασία εικόνας θα μας αναδείξει κάποια πολύ ενδιαφέροντα σημεία της παραπάνω λογικής.

Με την ίδια λογική, αν το punch τέμνει την επιφάνεια του δέρματος της δότριας ζώνης υπό γωνία  $z$ , τότε προκαλεί ελλειπτικό τραύμα, με ημιάξονες  $r_o$ ,  $r_o'$  και εμβαδόν  $S_o = \pi r_o r_o'$ . Μετά τη συρρίκνωση του δέρματος, το νέο εμβαδόν  $S_x$  με ημιάξονες  $r_x$  και  $r_x'$  θα είναι  $S_x = \pi r_x r_x'$ .

Ενεργώντας όπως ακριβώς και προηγουμένως, το ποσοστό της μάζας που διεσώθη θα είναι  $\frac{m_o - m_x}{m_o} = 1 - \frac{r_x r_x'}{r_o r_o'} \%$ , ενώ η μάζα που αφαιρέθηκε θα είναι

$$\frac{m_x}{m_o} = \frac{r_x r_x'}{r_o r_o'} \%$$

Μένει, λοιπόν, να μετρηθούν τα  $r_o, r_o', r_x, r_x'$ , ώστε να υπολογιστούν τα ανωτέρω ποσοστά.

(Σημείωση προς τον αναγνώστη: Στους υπολογισμούς λάβαμε υπόψη πως ο όγκος του δέρματος που τέμνεται από το punch υπό γωνία  $z$  είναι αυτός που ορίζεται από το σχήμα ενός κυλίνδρου που τέμνει δύο παράλληλες ευθείες υπό γωνία  $z$ . Οι ευθείες αυτές συμπίπτουν με την επιφάνεια της επιδερμίδας και το κάτω άκρο της δερμίδας του δέρματος αντίστοιχα. Αν  $x_o$  είναι η απόσταση μεταξύ των ευθειών και ισούται με το πάχος της επιδερμίδας και της δερμίδας μαζί, και  $x$  είναι η διαδρομή του punch μέσα στο επίπεδο που ορίζουν αυτές οι ευθείες, τότε ο όγκος του σχήματος είναι:

$$v = \pi r r' \cdot x = \frac{\pi r r' x_o}{\sin z}.$$

Πριν προχωρήσουμε θα θέλαμε να εξετάσουμε τον εξής συλλογισμό:

**Ποια σχέση συνδέει τη μάζα του δέρματος που τέμνεται από το punch υπό γωνία  $z$  χωρίς έγχυση φυσιολογικού ορού, με αυτήν που τέμνεται από το punch κάθετο στην επιφάνεια και αφού έχει προηγηθεί έγχυση φυσιολογικού ορού;**

Έστω δέρμα χωρίς έγχυση φυσιολογικού ορού, με πυκνότητα  $d$  και πάχος  $x_o$ .

Το κάθετο στην επιφάνεια του δέρματος punch αφαιρεί μάζα  $m_o = d \cdot v_o = d \pi r_o^2 \cdot x_o$  **(1)**, όπου  $r_o$  η ακτίνα του punch. Τώρα το ίδιο punch τέμνει υπό γωνία  $z$  και διανύει απόσταση μέσα στη στοιβάδα επιδερμίδας-δερμίδας  $x$ , με  $x = \frac{x_o}{\sin z}$  **(2)**. Συνεπώς, η μάζα που τέμνεται δίνεται από τον τύπο

$$m = dv' = \frac{d \cdot x \cdot \pi \cdot r_o^2}{\sin z} \text{ **(3)** ,}$$

όπου  $v' = \frac{x_o \cdot \pi \cdot r_o^2}{\sin z}$  ο όγκος του σχήματος που έχουμε περιγράψει προηγουμένως και  $\pi \cdot r_o^2$  είναι το εμβαδόν της έλλειψης που τέμνει το punch, που, όπως έχουμε αποδείξει στο αντίστοιχο κεφάλαιο, είναι  $\frac{\pi \cdot r_o^2}{\sin z}$ .

Διαίρωντας κατά μέλη τις 3 και 1 και με τη βοήθεια της 2 έχουμε:

$$\frac{m}{m_o} = \frac{\frac{d \cdot x_o \cdot \pi \cdot r_o^2}{\sin^2 z}}{d \cdot x_o \cdot \pi \cdot r_o^2} = \frac{1}{\sin^2 z} = \left( \frac{1}{\sin z} \right)^2 \quad (4)$$

Δηλαδή η ιστική καταστροφή για τη στοιβάδα του δέρματος που μελετάμε είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου του ημιτόνου της γωνίας  $z$ . Είναι φανερό λοιπόν πως μια τέτοια αναλογία εξηγεί την εκτεταμένη ουλοποίηση που προκαλείται στο δέρμα, ιδιαίτερα σε περίπτωση χαμηλής γωνίας εξαγωγής χωρίς προηγούμενη έγχυση φυσιολογικού ορού ενδοδερμικά.

Η σχέση που συνδέει τη μάζα  $m_o$ , που αφαιρεί αυτό το punch χωρίς έγχυση φυσιολογικού ορού, με την  $m_x$ , που θα αφαιρεθεί αν εγχύσουμε φυσιολογικό ορό, δίνεται από την εξίσωση  $\frac{m_o}{m_x} = \frac{S_x}{S_o}$ , όπου  $S_o$  και  $S_x$  τα αντίστοιχα εμβαδά.

Συνεπώς, με βάση τις προηγούμενες εξισώσεις προκύπτει πως  $m = \frac{1}{\sin^2 z} \frac{S_x}{S} \times m_x$ .



# Βιβλιο- γραφία

---

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΤΡΙΧΟΠΤΩΣΗ

1. **Manabu Ohyama:** *Hair Follicle Stem Cells-New Insights & Clinical Relevance*, AccessMedicine. Available at <http://www.accessmedicine.com/updatesContent.aspx?aID=1001537>. Accessed December 3 2009.
2. **Luderer HF, Demay MB:** *The vitamin D receptor, the skin and stem cells*, J Steroid Biochem Mol Biol. Feb 6 2010; [Medline].
3. **Magro CM, Rossi A, Poe J, Manhas-Bhutani S, Sadick N:** *The role of inflammation and immunity in the pathogenesis of androgenetic alopecia*, J Drugs Dermatol. Dec 2011; 10(12): pp.1404-1411. [Medline].
4. **Brockschmidt FF, Heilmann S, Ellis JA, et al.:** *Susceptibility variants on chromosome 7 p21.1 suggest HDAC9 as a new candidate gene for male-pattern baldness*, Br J Dermatol. Dec 2011; 165(6): pp.1293-1302. [Medline].
5. **Wang TL, Zhou C, Shen YW, et al.:** *Prevalence of androgenetic alopecia in China: a community-based study in six cities*, Br J Dermatol. Jan 22 2010; [Medline].
6. **Stough D, Stenn K, Haber R, et al.:** *Psychological effect, pathophysiology, and management of androgenetic alopecia in men*, Mayo Clin Proc. Oct 2005; 80(10): pp.1316-1322. [Medline].
7. **Lesko SM, Rosenberg L, Shapiro S:** *A case-control study of baldness in relation to myocardial infarction in men*, JAMA. Feb 24 1993; 269(8): pp.998-1003. [Medline].
8. **Oh BR, Kim SJ, Moon JD, et al.:** *Association of benign prostatic hyperplasia with male pattern baldness*, Urology. May 1998; 51(5): pp.744-748. [Medline].
9. **Arias-Santiago S, Arrabal-Polo MA, Buendía-Eisman A, et al.:** *Androgenetic alopecia as an early marker of benign prostatic hyperplasia*, J Am Acad Dermatol. Mar 2012; 66(3): pp.401-408. [Medline].
10. **Ludwig E:** *Classification of the types of androgenetic alopecia (common baldness) occurring in the female sex*, Br J Dermatol. Sep 1977; 97(3): pp.247-254. [Medline].
11. **Hillmer AM, Flaquer A, Hanneken S, et al.:** *Genome-wide scan and fine-mapping linkage study of androgenetic alopecia reveals a locus on chromosome 3q26*, Am J Hum Genet. Mar 2008; 82(3): pp.737-743. [Medline]. [Full Text].
12. **Alsantali A, Shapiro J:** *Androgens and hair loss*, Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes. Jun 2009; 16(3): pp.246-253. [Medline].
13. **Krajcik RA, Vogelmann JH, Malloy VL, Orentreich N:** *Transplants from balding and hairy androgenetic alopecia scalp regrow hair comparably well on immunodeficient mice*, J Am Acad Dermatol. May 2003; 48(5): pp.752-759. [Medline].
14. **Cousen P, Messenger A:** *Female pattern hair loss in complete androgen insensitivity syndrome*, Br J Dermatol. Feb 1 2010; [Medline].
15. **Paladini RD, Saleh J, Qian C, Xu GX, Rubin LL:** *Modulation of hair growth with small molecule agonists of the hedgehog signaling pathway*, J Invest Dermatol. Oct 2005; 125(4): pp.638-646. [Medline].

16. Olsen EA, Reed KB, Cacchio PB, Caudill L: *Iron deficiency in female pattern hair loss, chronic telogen effluvium, and control groups*, J Am Acad Dermatol. Dec 2010; 63(6): pp.991-999. [Medline].
17. Lattouf C, Miteva M, Tosti A: *Connubial androgenetic alopecia*, Arch Dermatol. Nov 2011; 147(11): pp.1329-1330. [Medline].
18. Ahouansou S, Le Toumelin P, Crickx B, Descamps V: *Association of androgenetic alopecia and hypertension*, Eur J Dermatol. May-Jun 2007; 17(3): pp.220-222. [Medline].
19. Su LH, Chen TH: *Association of androgenetic alopecia with smoking and its prevalence among Asian men: a community-based survey*, Arch Dermatol. Nov 2007; 143(11): pp.1401-1406. [Medline].
20. Schmidt AN, Taylor BR, King LE, and Tourjee SM: *The ProScope HR: A promising diagnostic tool*, J Am Acad Dermatol. March, 2010; 62: AB64.
21. Karadag Köse O, Güleç AT: *Clinical evaluation of alopecias using a handheld dermatoscope*, J Am Acad Dermatol. Aug 2012; 67(2): pp.206-214. [Medline].
22. Headington JT, Novak E: *Clinical and histological studies of male pattern baldness treated with topical minoxidil*, Curr Ther Res Clin Exp. 1984; 36: pp.1098-1106.
23. Olsen EA, Dunlap FE, Funicella T, et al.: *A randomized clinical trial of 5% topical minoxidil versus 2% topical minoxidil and placebo in the treatment of androgenetic alopecia in men*, J Am Acad Dermatol. Sep 2002; 47(3): pp.377-385. [Medline].
24. Scarinci F, Mezzana P, Pasquini P, Colletti M, Cacciamani A: *Central chorioretinopathy associated with topical use of minoxidil 2% for treatment of baldness*, Cutan Ocul Toxicol. Sep 23 2011; [Medline].
25. Rittmaster RS: *Finasteride*, N Engl J Med. Jan 13 1994; 330(2): pp.120-125. [Medline].
26. Rossi A, Cantisani C, Scarnò M, Trucchia A, Fortuna MC, Calvieri S: *Finasteride, 1 mg daily administration on male androgenetic alopecia in different age groups: 10-year follow-up*, Dermatol Ther. Jul 2011; 24(4): pp.455-461. [Medline].
27. Sato A, Takeda A: *Evaluation of efficacy and safety of finasteride 1 mg in 3177 Japanese men with androgenetic alopecia*, J Dermatol. Jan 2012; 39(1): pp.27-32. [Medline].
28. Rogers NE, Avram MR: *Medical treatments for male and female pattern hair loss*, J Am Acad Dermatol. Oct 2008; 59(4): pp.547-566; quiz 567-568. [Medline].
29. Leavitt M, Charles G, Heyman E, Michaels D: *HairMax LaserComb laser phototherapy device in the treatment of male androgenetic alopecia: A randomized, double-blind, sham device-controlled, multicentre trial*, Clin Drug Investig. 2009; 29(5): pp.283-292. [Medline].
30. Blume-Peytavi U, Lönnfors S, Hillmann K, Garcia Bartels N: *A randomized double-blind placebo-controlled pilot study to assess the efficacy of a 24-week topical treatment by latanoprost 0.1% on hair growth and pigmentation in healthy volunteers with androgenetic alopecia*, J Am Acad Dermatol. Aug 27 2011; [Medline].
31. Sinclair R, Patel M, Dawson TL Jr, et al.: *Hair loss in women: medical and cosmetic approaches to increase scalp hair fullness*, Br J Dermatol. Dec 2011; 165 Suppl 3: pp.12-18. [Medline].
32. Zimmer MP, Ziering C, Zeigler F, et al.: *Hair regrowth following a Wnt- and follistatin containing treatment: safety and efficacy in a first-in-man phase 1 clinical trial*, J Drugs Dermatol. Nov 2011; 10(11): pp.1308-1312. [Medline].
33. Lee GY, Lee SJ, Kim WS: *The effect of a 1550 nm fractional erbium-glass laser in female pattern hair loss*, J Eur Acad Dermatol Venereol. Dec 2011; 25(12):1450-1454. [Medline].
34. Avram M, Rogers N: *Contemporary hair transplantation*, Dermatol Surg. Nov 2009; 35(11): pp.1705-1719. [Medline].
35. Hamilton JB: *Patterned loss of hair in man; types and incidence*, Ann N Y Acad Sci. Mar 1951; 53(3): pp.708-728. [Medline].
36. Kaufman KD: *Androgen metabolism as it affects hair growth in androgenetic alopecia*, Dermatol Clin. Oct 1996; 14(4): pp.697-711. [Medline].

37. **Muller SA:** *Alopecia: syndromes of genetic significance*, J Invest Dermatol. Jun 1973; 60(6): pp.475-492. [Medline].
38. **Olsen EA:** *Androgenetic alopecia*. In: Olsen EA ed. *Disorders of Hair Growth: Diagnosis and Treatment*. New York, NY: McGraw-Hill; 1994: pp.257-283.
39. **Olsen EA, Messenger AG, Shapiro J, et al.:** *Evaluation and treatment of male and female pattern hair loss*, J Am Acad Dermatol. Feb 2005; 52(2): pp.301-311. [Medline].
40. **Otberg N, Finner AM, Shapiro J:** *Androgenetic alopecia*, Endocrinol Metab Clin North Am. Jun 2007; 36(2): pp.379-398. [Medline].
41. **Shapiro J, Price VH:** *Hair regrowth. Therapeutic agents*, Dermatol Clin. Apr 1998; 16(2): pp.341-356. [Medline].
42. **Sperling LC:** *Evaluation of hair loss*, Curr Probl Dermatol. 1996; 8: pp.97-136.
43. **Sperling LC, Lupton GP:** *Histopathology of non-scarring alopecia*, J Cutan Pathol. Apr 1995; 22(2): pp.97-114. [Medline].
44. **Stern RI, Heymann WR:** *Androgenetic alopecia*, Clin Dermatol. 1997; 2(32): pp.1-6.
45. **Venning VA, Dawber RP:** *Patterned androgenic alopecia in women*, J Am Acad Dermatol. May 1988; 18(5 Pt 1): pp.1073-1077. [Medline].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΜΟΣΧΕΥΣΗΣ ΤΡΙΧΟΘΥΛΑΚΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ FUE

1. **Orentreich N:** *Autografts in alopecias and other selected dermatological conditions*, Annals of the New York Academy of Sciences 83, 1959: pp.463-479.
2. **Bernstein RM, Rassman WR, Szaniawski W, Halperin A:** *Follicular Transplantation*, Intl J Aesthetic Restorative Surgery, 1995; 3: pp.119-132.
3. **Bernstein RM, Rassman WR:** *Follicular Transplantation: Patient Evaluation and Surgical Planning*, Dermatol Surg 1997; 23: pp.771-784.
4. **Bernstein RM, Rassman WR:** *The Aesthetics of Follicular Transplantation*, Dermatol Surg 1997; 23: pp.785-799.
5. **Bernstein RM, Rassman WR:** *The logic of follicular unit transplantation*, Dermatologic Clinics 1999; 17 (2): pp.277-295.
6. **Rassman W, Bernstein R, McClellan R, et al.:** *Follicular unit extraction: minimally invasive surgery for hair transplantation*, Dermatol Surg. 2002; 28: pp.720-728.
7. **Rassman WR, Harris JA, Bernstein RM:** *Follicular unit extraction*, in: Haber RS, Stough DB, eds.: *Hair Transplantation*, Philadelphia: Elsevier Saunders; 2006: pp.133-137.
8. **Bernstein RM:** *Integrating Robotic FUE into a hair transplant practice*, Hair Transplant Forum Intl. 2012; 22(6): pp.228-229.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Η ΦΥΣΙΚΗ ΤΟΥ FUE

1. **Rassman W, Bernstein R, McClellan R, et al.:** *Follicular unit extraction: minimally invasive surgery for hair transplantation*, Dermatol Surg. 2002; 28: pp.720-728.
2. **Rassman WR, Harris JA, Bernstein RM:** *Follicular unit extraction*, in: Haber RS, Stough DB, eds: *Hair Transplantation*. Philadelphia: Elsevier Saunders; 2006: pp.133-137.
3. **Onda M, Igawa HH, Inoue K, et al.:** *Novel technique of follicular unit hair transplantation with a powered punching device*, Dermatol Surg. 2008; 34: pp.1683-1688.
4. **Williams KW:** *Current practices and controversies in cosmetic hair restoration*, Dermatol Surg. 2013; 39: pp.798-801.
5. **Harris JA:** *New methodology and instrumentation for follicular unit extraction: lower follicle transection and expanded patient candidacy*, Dermatol Surg. 2006; 32: pp.56-62.



- 6. Zontos G, Rose P, Nikiforidis G:** *A mathematical proof of how the outgrowth angle of hair follicles influences the injury to the donor area in FUE harvesting*, Dermatol Surg. 2014; 40(10): pp.1147-1150.
- 7. Cole JP:** *An analysis of follicular punches, mechanics, and dynamics in follicular unit extraction*, Facial Plast Surg Clin North Am. 2013; 21: pp.437-447.

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. FOLLYSIS<sup>®</sup>

- 1. Rudnicka L, Olszewska M., Rakowska A., Kowalska-Oledzka E., Slowinska M:** *Trichoscopy: a new method for diagnosing hair loss*, J Drugs Dermatol. 2008; 7 (7): pp.651-654. CS1 maint: Multiple names: authors list (link).
- 2. Rakowska A:** *Trichoscopy (hair and scalp videodermoscopy) in the healthy female. Method standardization and norms for measurable parameters*, J Dermatol Case Rep.2009; 3 (1): pp.14-19.
- 3. Choloniewski C:** *New method for the determination of luminosity function of galaxies*, Monthly notices of the Royal Astronomical Society. 1-9 Oct 1986: p.223.
- 4. Paodan P, Jimenez R:** *Ages of glabal clusters:breaking the age –distance degeneracy with the luminosity function*, The Astrophysical Journal. 1997 February 1: p.475.
- 5. Van Leemput K, Maes F, Vandemenlen D, Suetens P:** *Automated model – based bias field corrections of MR images of the brain*, Browse Journals and Magazines, IEFÉ Transactions on Medical Volume 18 issue 10.
- 6. Gilles S, Brady M et al.:** *Bias field correction of breast MR Images*, chapter “*Visualisation in Biomedical computing*”. Volume 1131 of the series Lecture Notes in Computer Science: pp.153-158.
- 7. Guillemand R, Brady M:** *Estimating the bias field of MR images*, IEEE Transactions on Medical Imaging. Volume 16, Issue 3: pp.238-251.
- 8. Gonzalez RC, Woods RE:** *Thresholding*, in Digital Image Processing. 2002: pp 595-611. Pearson Education IBN 81-7808-629-8.
- 9. Nobuyuki Otsu:** (1979) *A threshold selection method from gray – level histograms*, IEEE Trns. Sgs, Man, Cyber 01/1979; 9(1): pp.62-66.
- 10. Sera J:** *Image Analysis and Mathematical Morphology*. 1982; ISMN 0-12-637240-3.
- 11. Fischer R, Perkins S, Walter A, Wolfart E:** *Connected component labeling*.
- 12. Vincent L, Soile P:** *Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.13 Num. G. 1991: pp.583-598.
- 13. Chew LP:** *Constrained Delaunay Triangulations*. Proceedings of the Third Annual Symposium on Computational Geometry; 1987.
- 14. Shewchuk JR:** *General-Dimensional Constrained Delaunay and Constrained Regular Triangulations*, in: Combinatorial Properties, 39 (1-3), 2008: pp.580-637.

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ FOLLYSIS<sup>®</sup> ΣΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ FUE

- 1. Rassman W, Bernstein R, McClellan R, et al.:** *Follicular unit extraction: minimally invasive surgery for hair transplantation*. Dermatol Surg; 28, 2002; pp.720-728.
- 2. Rassman WJ, Harris JA, Bernstein RM:** *Follicular Unit Extraction*, in: Robert S Haber, Dowling B Stough, editors. *Hair Transplantation*. Philadelphia: Elsevier Saunders; 2006: pp.133-137.
- 3. Williams KL Jr:** *Current practices and controversies in cosmetic hair restoration*, Dermatol Surg; 2013; 39: pp.798-801.

4. **Avram M, Rogers N:** *Contemporary Hair Transplantation*, Dermatologic Surgery. Nov 2009; 35(11): pp.1705-1719.
5. **Williams K, Boden S:** *Hair Transplant 360 Follicular Unit Extraction (FUE), Volume Four*, in: Lam S, Williams K, Hair transplant 360; 2015. Ch. 16, p.284.
6. **Harris JA:** *New methodology and instrumentation for follicular unit extraction: lower follicle transection and expanded patient candidacy*, Dermatol Surg; 2006; 32: pp.56-62.
7. **Zontos G, Rose P, Nikiforidis G:** *A Mathematical Proof of How the Outgrowth Angle of Hair Follicles Influences the Injury to the Donor Area in FUE Harvesting*. Dermatol Surg; 2014; Volume 40; Issue 10: pp.1147-1150
8. **Zontos G:** *The physics of follicular unit extraction*, in: Lam S, Williams K: Hair transplant 360; 2015: p.45.
9. **Lawrence W, Gerand D:** *Current Surgical Diagnosis and Treatment*, chapter 4: wound healing eleventh edition: p.86.
10. **Ayres F, Moyer RE:** *Trigonometry*: Schaum's outline series. New York: McGraw-Hill; 1998.
11. **Gonzalez RC, Woods RE, Eddins SL:** *Digital Image Processing Using Matlab*, Pearson Education; 2009, 2nd Ed.
12. **Unger W:** *Commentary*, Dermatologic Surgery. Jan 2006; 32(1): pp.61-62.
13. **Harris JA:** *In Response to Commentary on New Methodology and Instrumentation for Follicular Unit Extraction: Lower Follicle Transection Rates and Expanded*. Dermatologic Surgery. Apr 2006; 32(4): p.599.
14. **Karaçal N, Uraloğlu M, Dindar T:** *Necrosis of the donor site after hair restoration with follicular unit extraction (FUE): A case report*. Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery, Vol. 65, Issue 4, e87–e89, published online: July 18 2011.
15. **Kim SR, Han KD, Kim CY:** *Repigmentation of Vitiligo Using the Follicular Unit Extraction Technique*. Dermatologic Surgery. Dec 2014; 40(12): pp.1425-1427.

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

1. **Venkataram Mysore:** *Body Hair Transplantation: Case Report of Successful Outcome*, J Cutan Aesthet Surg. Apr-Jun 2013; 6(2): pp.113-116.
2. **Cole J:** *Body Hair Transplant*. Forum ISHRS, July 7, 2014.

#### ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ

Οι φωτογραφίες 3.3, 3.5, 3.6, 3.7A,B, 3.22 – ευγενική παραχώρηση από Dermatologic Surgery.

[ **Zontos G, Rose P, Nikiforidis G:** *A mathematical proof of how the outgrowth angle of hair follicles influences the injury to the donor area in FUE harvesting*. Dermatol Surg. 2014; 40(10): pp.1147-1150. ]

Οι φωτογραφίες 3.1, 3.2, 3.8, 3.9A,B, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13A-Γ, 3.14A-Γ, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, 3.20, 3.21 – ευγενική παραχώρηση από Hair Transplant 360, Volume Four, με την άδεια της Jaypee Brothers Medical Publishers.