

角膜移植の適応、眼球摘出と評価

東邦大学医療センター大森病院
柿橋康二

1. 適応疾患

- 角膜瘻痕
- 円錐角膜(角膜不正乱視)
- 水疱性角膜症
- 角膜ジストロフィ

3. 各術式の適応

全層角膜移植 (PKP; penetrating keratoplasty)

前部層状角膜移植 (ALK; Anterior Lamellar keratoplasty)

深層層状角膜移植 (DALK; deep anterior lamellar keratoplasty)

内皮移植

1) 角膜内皮移植 (DSAEK; Descemet's stripping automated endothelial keratoplasty)

2) デスメ膜内皮移植術 (DMEK; Descemet's membrane endothelial keratoplasty)

上皮移植 (Epithelial transplantation)

1) 輪部移植 (LT; limbal transplantation)

2) 培養角膜上皮移植

(CLET; cultivated limbal epithelial transplantation)

(COMET; cultivated oral mucosal epithelial transplantation)

講演内容

• 角膜移植の適応

1. 適応疾患
2. 術前検査と評価方法
3. 各術式の適応
4. 上皮移植

• 眼球摘出と評価

1. ドナー発生から眼球摘出までの流れ
2. 眼球摘出
3. 移植片の作成
4. 移植片の評価

2. 術前検査と評価方法

- 視力予後
- 原疾患
- 角膜内皮機能
- 角膜不正乱視
- 角膜混濁の程度・範囲

4. 上皮移植 (LT/CLET/COMET)

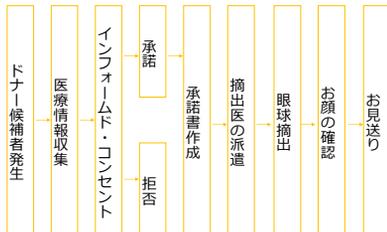
輪部機能不全(LSCD:limbal stem cell deficiency)に対して幹細胞を供給する術式

LSCD

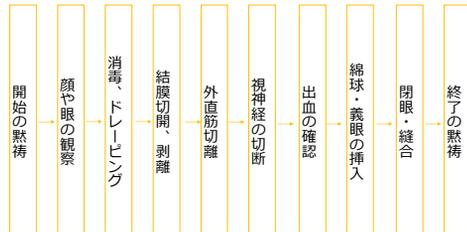
- ✓ 角膜上皮欠損が遅延する
- ✓ 結膜上皮が角膜内へ侵入する

	分類	疾患名
両眼性が多い	炎症性	Stevens-Johnson症候群 眼類天疱瘡
	先天性	先天無虹彩症 膠様滴状角膜ジストロフィ
片眼性が多い	外傷性	化学傷、熱傷、薬剤性、放射線
	腫瘍性	結膜上皮内新生物、輪部扁平上皮癌
	幹細胞疲労症	長期角結膜炎、水疱性角膜症

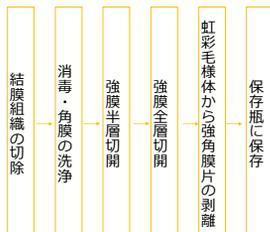
1. ドナー発生から眼球摘出までの流れ



2. 眼球摘出



3. 移植片の作成



4. 移植片の評価(細隙灯顕微鏡検査)

評価項目

- 上皮：上皮欠損の有無
- 実質：混濁や浮腫
- デスメ膜：デスメ膜脱離の有無
- 内皮：
- Clear zoneの測定
- Graft sizeの測定



上皮



実質



デスメ膜～内皮

全層角膜移植の基本手技

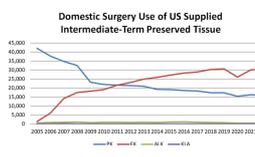
国際医療福祉大学三田病院
吉田 絢子



1

全層角膜移植とは

- 100年以上の歴史がある術式
 - 1906年 Zirmによる報告がヒトでの最初の全層移植成功例
- 最も基本的かつシンプルな角膜移植
- 層別移植の普及で実施数減少傾向
- 全層角膜移植は実質および内皮病変眼のほか、**DSAEK**（角膜内皮移植）や**DALK**（深部層状角膜移植）が可能な場合に実施されることも



2022 EBAA Eye Banking Statistical Report 2.9



2

全層角膜移植の特徴

- 長所
 - 術式が標準化されている
 - （層別移植と異なり）層間混濁がなくグラフトの高い透明性が期待可能
 - 輪部幹細胞疲弊などの上皮異常以外、すべての病態に対応可能
- 短所
 - 術後屈折の予測が立てにくく角膜乱視が強くなる
 - 拒絶反応の割合が他の層別移植に比べて高い
 - グラフト・ホスト接合部は弱く眼球打撲などによる眼球破裂のリスク

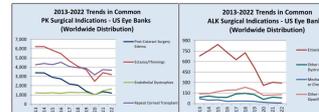


3

適応

- 実質、内皮の不可逆な異常により視力低下をきたしたものの
 - 円錐角膜（特に急性水腫後）
 - 角膜ヘルペス（内皮炎で内皮のダメージがあるものも多いため）
 - 中央部の角膜穿孔
 - 移植片不全
- 拒絶反応のリスク
 - 角膜血管侵入
 - 複数回の移植後
 - 虹彩前癒着
 - 緑内障、緑内障術後

Indications for Penetrating Keratoplasty 2022	Domestic Use	International Use	TOTAL	
A. Postinfectious edema	752	4.7%	453	3.5%
B. Ectasia/Thinning	2,128	13.4%	1,069	8.3%
C. Endothelial Dystrophies	1,018	6.4%	629	4.9%
D. Repeat Corneal Transplant	3,030	19.1%	450	3.5%
E. Other degenerative or dystrophic	765	4.8%	393	3.0%
F. Refractive	47	0.3%	23	0.2%
G. Microbial keratitis	353	2.2%	154	1.2%
H. Mechanical or chemical trauma	427	2.7%	197	1.5%
I. Congenital opacities	253	1.6%	133	1.0%
J. Phlegmon	11	0.1%	3	0.0%
K. Noninfectious ulcerative keratitis or perforation	2,247	14.2%	139	1.1%
L. Other causes of corneal dysfunction or distortion	1,583	9.9%	407	3.2%
All other causes of endothelial dysfunction	1,069	6.8%	307	2.4%
M. Unknown, unspecified, or unspecified	3,215	20.2%	6,447	50.5%
Total Indications for Penetrating Keratoplasty	15,835		12,891	28,726



2022 EBAA Eye Banking Statistical Report 2.9



4

術後期待値：全層移植のリアルは？

- 術後の不正乱視はつきもの。眼鏡矯正（1.0）以上が目標であるもの難しい場合も多い
- 実用的な視力を得るためにハードコンタクトレンズによる視力矯正が必要
- 術後角膜乱視：目標はCYL 3.0D以下
- 創強度は著しく低いので、老人の転倒などによる眼球打撲からの眼球破裂には注意
- 拒絶反応のリスクは、一生、ある
- 原疾患による予後の差は、ある
- 術後期待できる視力について事前に患者とよく話し現実的なプランをしっかりと



5

移植開始

- 消毒前にホナンバルーンなどによる眼球圧迫
- レシビエントへのマーキング
 - センターと放射状の8本マーカ
 - このときにグラフトサイズ最終決定
- フリリンガリングの縫着
 - 4針～6針
 - 無硝子体眼などでは特に必要
 - 慣れない術者は運針の深さに注意




6

グラフト準備

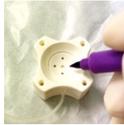
- レシipient打ち抜きは必要最小限が基本
 - 7.0mmが多い
 - 最終決定は手術時に
 - 円錐角膜の場合は小さすぎるグラフト径は再発リスク。Fleischer輪は取りきる
- ドナー角膜のサイズはレシipientサイズに対して0.25mm差が基本
 - ドナー角膜をBSSで洗浄後上皮面の水分をふき取る
 - マスキング：ドナー角膜中央とバンチの穴はか所
 - 打ち抜き時のセンタリングに注意
 - 安定した台上でしっかり四隅をおさえて
 - ドナー内皮面は粘弾性物質で保護



バロン氏放射状真空トレパン



バロン氏真空ドナー角膜バンチ



7

打ち抜き

- Open skyになるところなのでここからが一番気を遣うところ
 - 手早く、でもあせらず
 - 開眼器の圧にも注意
- サイドポートから前房内に粘弾性物質の注入
- トレパンのセンタリング確認後、吸引をかける
 - 30秒保持
 - 円錐角膜では吸引がかりにくいことも
- ずれないように打ち抜き開始
 - バロンのトレパンは1周で0.25mmすすむ
 - 粘弾性物質がでてきたらとめる
- 切れ口からカッチン剪刀を用いて切り抜き
 - 剪刀の角度に注意。切り口が斜めにならないように
 - デスメ膜が残ってしまうことも
 - 虹彩に触らないように



8

グラフト縫合

- 縫合法の選択
 - 単縫合は再移植、血管侵入のある眼、感染ハイリスク眼など
 - 少しずつ抜糸できる→感染発症や術後の乱視調整
 - シンプルな症例では連続縫合を選択
 - 最後にマイヤーリングを用いた乱視調整が可能
- 通糸の深さは角膜厚の9割以上。穿通しない程度に
- まずは十字に4本：最重要かつ難しい4本
 - 10-0ナイロン
 - 左手前（1時半）から開始がオススメ
 - 一見きつそうに見えるくらいがちょうどよい
- 次に残り4本
- 残り8針
 - 単縫合：各縫合糸のテンションのバランス。
 - 連続縫合：糸が切れないように針が曲がらないように



9

仕上げ

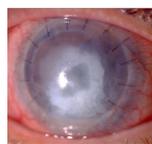
- 前房洗浄
- リークの確認
 - もれるようなら縫合追加
 - Water tightであることはとても大事
- ノットの埋没
- ステロイドや抗菌薬の結膜下注射



10

術後管理

- 早期
 - ステロイドの局所・全身投与
 - リークの有無の確認を！
 - 針穴ならソフトコンタクトレンズをいれて経過観察
 - 創間からの場合は縫合追加が必要になることが多い
- 晩期
 - ステロイド点眼は漸減するが細く継続
 - 抜糸は乱視調整のため半年以降を目安に実施
 - 感染予防
 - 縫合糸感染：ゆるんだ糸は即抜糸
 - 真菌感染：ステロイド点眼による易感染状態
 - ヘルペス再発：上皮病変再発のほか、内皮炎の場合拒絶反応との鑑別
 - 拒絶反応
 - Koukdoust lineが有名だが、KPsを伴う角膜厚の増加には注意
 - 細く長くステロイド点眼を続けることで予防
 - ステロイドリスポンダーなどの場合免疫抑制剤の内服を続ける場合も



グラフト感染



11

最後に

- 角膜移植としては超基本の術式→他の移植を実施する前に習得
- これから始める方は縫合の練習を
 - 深さ、方向とも自在に、テンションは一定に、10-0ナイロンが縫えるように
- 手術手技はもちろん、術前準備、術後管理、患者との信頼関係がとても大切



角膜ヘルペス：術前指散



12

第48回日本眼科手術学会学術総会
教育セミナー「角膜移植の基本」

角膜内皮移植術の基本手技

順天堂大学医学部附属順天堂医院
中谷 智

2025年1月31日 - 2月2日 パシフィコ横浜 会議センター

1

日本の角膜移植術の特徴

手術機会が少ない

角膜移植術件数は白内障手術件数の約1/500 (0.2%)

角膜内皮移植術は年間1200~1300件程度と推定される¹⁾

1) 日本角膜移植学会 角膜移植全国調査 (中間報告) 2023

2

日本の角膜内皮移植術は
“**経験が少ない医師が、少ない手術機会でも施行していける手術、**
である必要がある

↓

今回、『**角膜内皮移植術の執刀経験数件の術者が**
約半年ぶりに執刀した手術動画』を検証する

下記のそれぞれの手技で何を注意して手術望んだかを顧みることに
より、手術の基本手技を見直してみる

**ドナー角膜選択、術式選択、移植片作製、創口作製
デスマ膜剥離、移植片前房内挿入、前房内空気注入**

3

ドナー角膜選択

アイバンクを考慮すると

**角膜内皮移植術は、必ず国内ドナーを
用いて試行しなくてはならない**

輸入プレカットドナー角膜を用いた角膜内皮移植術は、
日本のアイバンクにとっては最悪の選択

4

ドナー角膜選択

【術者の考え】

ドナー角膜は内皮移植に適しているかな？ 

【review】

内皮移植のドナー角膜条件を満たしているか確認が必要
・内皮細胞密度2000個/mm²以上・有水晶体眼・細菌培養検査陰性 etc

5

術式選択

【術者の考え】

久しぶりの角膜内皮移植だけどDSAEK数件しか経験がない
術式はDSAEKを選択しよう 

【review】

経験が少ない術者があえてDMEKを行う必要は全くない

6

移植片作製

【術者の考え】

移植片は既に作製してくれているから、必要ないな

【review】

経験が少ない術者にとっては、移植片作製を含めて手術当日全て自分で行うのは負担が大き過ぎる



7

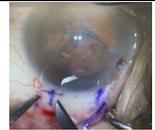
創口作製

【術者の考え】

白内障手術も同時に行うので、強角膜切開を選択しよう

【review】

切開部位は白内障が合併症なく施行できることを優先させてよい



8

デスメ膜剥離

【術者の考え】

白内障手術で使用したOVDを充填させたまま行おう

【review】

経験が少ない術者にとってはデスメ膜剥離はOVD充填が最もやりやすいが、角膜裏面に残存すると移植片接着不良の原因になるので要注意



9

移植片前房内挿入

【術者の考え】

NS Endo-Inserterしか使ったことがないから今回も使おう

【review】

経験が少ない術者には Busin グライドより NS Endo-Inserterの方が扱い易い



10

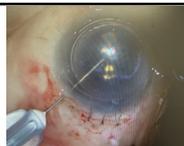
前房内空気注入

【術者の考え】

前回30G針を使用したので、今回も使おう

【review】

空気注入用の針はより細いほうがよい
当院で使用できる最も細い34G針を用いたほうが良い



11

Take home message

- 角膜内皮移植術は基本的に国内ドナーで試行しなくてはならず、それを前提にした手術体制を構築する必要がある
- 日本の角膜内皮移植術は、少なくかつ不定期な手術機会と少ない経験でも安全に施行できる術式を基本手技として習得しなくてはいけない

12

角膜移植の術後管理

東京歯科大学 市川総合病院 谷口 紫

角膜移植は1905年に世界で報告され、約120年の歴史を持つ。長い歴史の中で、従来の全層角膜移植(PKP)では合併症が多いため、障害部位のみを移植する角膜内皮移植(EK)や表層角膜移植(LKP)に代表される選択的層状角膜移植(以下、パーツ移植)が誕生し、そして今後は培養ヒト角膜内皮細胞の注入へと、より低侵襲な手術に変遷を遂げつてきた。一般的にパーツ移植はPKPに比較して、術中の安全性が高く、術後の視力回復が早く、合併症が少ないといった特徴が挙げられる。一方で、角膜移植術後に拒絶反応や眼外傷のような大きな事象がなくても、術後に角膜内皮細胞は減り続け移植片不全になると、移植の適応がある限り再移植を繰り返すケースも多く経験する。より長期にわたって角膜移植片を長持ちさせることは、今後も角膜移植医療を取り巻く課題と言える。

本講演では術後管理として、まず術後の典型的な経過を示し、感染・拒絶反応予防としての標準的な管理法、術後合併症の症例提示、縫合系関連の注意、に分けて解説する。

1 術後の典型的経過

術後管理を正しく理解するためには、まず術後の自然経過を理解する必要があると考える。典型的な術後経過を知っておくことで、実際に管理を行っている症例の経過に問題がないか、合併症が起きていないかを察知することができ、問題があった場合には、その原因を考察し、必要な対策が講じられるようになる。

PKPやLKP、EKの術後の自然経過と注意点について確認し、術後のそれぞれのタイミングでの注意点について確認する。

また起こりうる術後トラブルや対処するポイントについて説明する。

2 術後管理

周術期の点眼管理について、抗生剤とステロイド点眼の使用について説明する。通常、キノロン抗菌点眼薬が広域なスペクトルを有しているため頻用されている。しかし、抗生剤の使用方法については明らかなガイドラインがなく、施設ごとでも異なってくるのが現状である。

また、術後の角膜移植片の長期安定にはステロイドの使用が必要である。特にPKPでは長期経過したのちも拒絶反応を起こす可能性はゼロにならないため、ステロイド点眼の使用も長期にわたる。術式毎にステロイド点眼の継続の目安を示す。さらに、アトピー性皮膚炎や拒絶反応の既往眼などのハイリスク群には、免疫抑制薬の全身投与が有用であると報告されている。特にタクロリムス水和物の内服は当施設から過去に有用性を報告しており、難症例に対する術後管理の1つの選択肢として重要である。

合併症～症例提示

・ 囊胞性黄斑浮腫

EKについては、見落とされがちな合併症として術後囊胞様黄斑浮腫（CME）がある。既報では、閉塞隅角緑内障の患者は合併しやすいという報告もある。EK後の角膜の経過が良好であるにも関わらず、術後視力の立ち上がりが遅い、もしくは再度低下するような症例では、疑ってOCTなど眼底精査を行うことを勧める。

・ 実質型拒絶反応

深層層状角膜移植（DALK）における拒絶反応について笠松らは464眼のDALK患者を後方的に調べ、24眼のDALK術後の拒絶反応症例についてその特徴などを調べた。そして、日本人における拒絶反応の発症率はおおよそ5.2%であると報告した。今回はその拒絶反応の所見や特徴とその予後についての報告する。

縫合糸について

PKPやDALKの連続縫合糸は、術直後から数か月は、糸を撮子で手繰ることで角膜乱視の軽減を図ることが可能であり、その後の見え方やQOLにも関わるため是非施行したい処置である。

当院では連続縫合のナイロン糸が切れたり、緩んだりしない限りは、抜糸せずにそのまま置いておく方針をとっているが、角膜乱視が非常に強度な場合は、術後1年以上経過した後、全抜糸することで角膜乱視の軽減を試みるのも一つの手段と考える。

その他、縫合糸が緩んだり切れたりした際の対処、縫合糸関連の感染症について解説を行う。

角膜移植（PKP、DSAEK、DALK）における術後管理のポイントの幾つかを絞って提示した。点眼薬使用の一例、患者のリスク度合いの見極めと対応、術後囊胞様黄斑浮腫やDALK後の拒絶反応など比較的頻度が少ないものの症例提示を行った。角膜移植後の術後管理は長期に渡るため、患者の通院しやすい地元の眼科で定期通院をお願いしていることも多く、今後の診療の一助となれば幸いである。