

SOMMAIRE

INTRODUCTION	3
RAPPEL ANATOMIQUE ET PHYSIOLOGIQUE	6
I/ ANATOMIE	7
II/ PHYSIOLOGIE.....	15
CARACTERISTIQUES ET PRINCIPES DE MESURE DES DIFFERENTS PACHYMETRES.....	27
INTERETS ET INDICATIONS DE LA PACHYMETRIE	28
NOTRE ETUDE.....	31
MATERIEL ET METHODES	32
I/ MATERIEL.....	33
II/ METHODES.....	33
RESULTATS.....	34
DISCUSSION.....	44
I/PACHYMETRIE ET AGE.....	45
II/ PACHYMETRIE ET SEXE.....	45
III/ PACHYMETRIE ET REFRACTION.....	45
IV/ COMPARAISON ET CORRELATIONS ENTRE LES DIFFERENTS	46
CONCLUSION.....	48
RESUME	50
BIBLIOGRAPHIE	52

INTRODUCTION

- La cornée est une lentille naturelle transparente de l'œil, qui est au contact de l'air et qui possède une épaisseur variable selon les individus. En fait, l'épaisseur de la cornée n'est elle-même pas constante en tous points : elle est plus fine au centre qu'en périphérie.
- Quand on rapporte le chiffre de l'épaisseur cornéenne, on sous entend le plus souvent celui de l'épaisseur du centre de la cornée.
- La mesure de l'épaisseur cornéenne centrale (ECC) est devenue de plus en plus une partie indispensable de l'examen ophtalmologique. Une mesure précise est d'une importance capitale dans l'évaluation des changements physiologiques et pathologiques de la cornée.
- Pour information, une cornée normale mesure environ 12 mm de diamètre, sa pachymétrie est de 520 microns (un demi millimètre) au centre et d'environ 700 microns en périphérie.
- Les premières mesures de pachymétrie étaient optiques et consistaient à effectuer une mise au point successive de la lampe à fente sur la face antérieure puis postérieure de la cornée.
- Le développement de la chirurgie réfractive cornéenne a rendu nécessaire l'apparition d'autres techniques plus précises et permettant des mesures en périphérie.
- La pachymétrie ultrasonore fut la première technique de contact permettant au clinicien de connaître l'épaisseur cornéenne.
- D'autres techniques sont capables de mesurer avec précision et sans contact l'épaisseur du mur cornéen comme : la tomographie par cohérence optique (Optical Cohérence Tomographie : OCT), les topographes cornéens à balayage par fente (Orbiscan) ou caméra Scheimpflug (Galilei, Pentacam,

TMS 5) , la microscopie spéculaire et la biométrie non contact(pachymétrie à basse cohérence optique)

- L'objectif de notre étude est de Comparer les valeurs de l'épaisseur cornéenne centrale (ECC) obtenus par Lenstar (LS), Pentacam (PC), microscopie spéculaire (MS) et pachymètre à ultrasons (PU) sur des cornées saines.

RAPPEL

ANATOMIQUE

ET PHYSIOLOGIQUE

I-ANATOMIE

La cornée est une structure transparente, avasculaire d'Origine embryologique différente.

Elle est enchâssée comme un verre de montre dans la partie antérieure de la sclérotique. Sa transparence est due à l'agencement régulier des Fibres de collagène, l'absence de Vaisseaux et la pompe endothéliale régulatrice d'hydratation.

C'est une lentille sphéro-cylindrique qui détermine les 2/3 du pouvoir réfractif du Globe Oculaire, avec une puissance dioptrique moyenne de + 43D.

A. ANATOMIE MACROSCOPIQUE

Forme : Convexe et irrégulièrement asphérique. Ovoïde, à grand axe horizontal.

Diamètre : Ø moy 11,5mm ; Ø horizontal 11 à 12mm ; Ø vertical 9 à 10mm (NB : Microcornée si Ø < 10mm et Mégalocornée si Ø > 13mm. 6,5 mm).

Rayon de courbure : face antérieure 7,8 mm. face postérieure + courbe 6,5 mm. Mesurée par kératométrie.

Epaisseur : 550 µm au centre plus augmentée en périphérie Jusqu'au 700 µm.
Mesurée par Pachymètre

Surface : 1,3 cm² . Seulement 7 % de la surface de la sphère oculaire humaine.

Pouvoir réfractif 43D

B. ANATOMIE MICROSCOPIQUE

La cornée est composée de 5 couches : épithélium cornéen, Membrane de Bowman, stroma cornéen, Membrane de Descemet et l'endothélium cornéen.

a. L'Épithélium cornéen :

Indissociable du film lacrymal. Epaisseur de 30 à 50 μm (10 % Cornée).

L'épithélium Comprend 5 à 7 assises de cellules au centre et 8 à 10 en périphérie.

3 types de cellules épithéliales : cellules superficielles , cellules intermédiaires et cellules basales reposant sur la membrane basale.

Au sein de l'épithélium cornéen se trouvent aussi des lymphocytes, des cellules de Langherans présentatrices d'Ag et des mélanocytes. Ces cellules non épithéliales sont essentiellement présentes à la périphérie de l'épithélium dans la région limbique.

1. Cellules superficielles : Les plus différenciées, finiront par desquamer vers le film lacrymal.

2. Cellules intermédiaires : cellules de transition entre les cellules basales et superficielles. Elles comprennent 2 à 3 assises dans la partie centrale, et 5 à 6 à la périphérie.

3. Cellules basales : Couche cellulaire unique, reposant sur la Mb basale. C'est la couche germinative de l'épithélium .

b. La membrane basale :

Synthétisée par les cellules épithélium et sépare la membrane de Bowman de l'épithélium.

c. Membrane de Bowman :

Couche acellulaire composée de fibres de collagènes réparties dans la substance fondamentale (mucoprotéines). Mesure de 8 μm à 10 μm d'épaisseur et est située entre la Mb basale de l'épithélium et le stroma.

d. Stroma :

90% du tissu cornéen

Il est composé de matrice extracellulaire, de kératocytes et de fibres nerveuses.

Les fibres de collagènes sont disposées en lamelles superposées (250) traversant la cornée du limbe au limbe parallèles entre elles et parallèles à la surface cornéenne ce qui permet une transparence cornéenne.

Les protéoglycanes à kératane sulfate et chondroïtine sulfate, permettent de maintenir constant l'espace inter fibrillaire et l'hydratation stromale.

Les kératocytes jouent un rôle de l'intégrité de la matrice extracellulaire

La couche de Dua : nouvelle couche découverte en 2013 par Harinder Dua : pré-descemetique Épaisse de seulement une dizaine de micromètres, elle serait acellulaire pourtant très résistante et supporterait des pressions de 1, 5 à 2 bars. grand intérêt dans la chirurgie post de la cornée et la compréhension biomécanique de certaines pathologies cornéennes post comme : Hydrops aigu, Descemetocèle et les dystrophies du pré-Descemet.

e. La membrane de descemet

Lame basale de l'endothélium, résistante, solide, amorphe, élastique, riche en collagène et en laminine

f. L'endothélium

La couche la plus postérieure de la cornée directement en contact avec l'humeur aqueuse.

Il assure un triple rôle de détourgence pour maintenir la transparence:

- Synthèse
- Barrière interne
- Transport actif

Environ 500.000 cellules constituées d'une seule couche de cellules plates, hexagonales et régulières en « nid d'abeille » lors de l'examen in vivo en microscopie spéculaire, reliées par des jonctions étroites et lâches.

Les cellules endothéliales ont une hauteur de 5µm et une largeur de 15-20µm, avec une densité cellulaire moyenne chez le jeune adulte de 3500 cellule/mm² (diminuent avec l'âge)

- Le noyau est ovale, central et volumineux.
- Le cytoplasme contient de fins granules avec des vacuoles et de nombreux organites témoignant de sa grande activité cellulaire, les mitochondries qui ont un rôle respiratoire, le réticulum endoplasmique rugueux et lisse qui ont une activité de synthèse, les glycosaminoglycanes.
- La membrane cytoplasmique comprend :

Une face basale (en rapport avec la membrane de Descemet) irrégulière, sinueuse pour augmenter la surface d'échange avec les cellules voisines. Elle est le siège de nombreuses vésicules de pinocytose.

Une face apicale (en rapport avec l'humeur aqueuse) régulière et présente des microvillosités au nombre de 20-300 qui augmentent la surface de contact, des prolongements margino-apicaux intriqués les microvillosités pour oblitérer les espaces intercellulaires, des jonctions intercellulaires apicales qui constituent une

barrière permettant le passage de petites molécules de l'humeur aqueuse vers l'espace intercellulaire, et des structures ciliées peu nombreux dont l'extrémité baigne dans l'humeur aqueuse.

Une face latérale (en rapport avec les cellules de voisinage) qui assure la jonction intercellulaire par les zonulae ocludens (tightjunctions) et par les maculaeoccludens (gap junctions).

Sous le stress l'endothélium cornéen subit :

Ø une perte de sa structure hexagonale= pléomorphisme

Ø une augmentation de la taille de la cellule= polymégathisme

L'endothélium a un rôle de régulation et d'hydratation cornéenne pour maintenir les 78% d'eau dans le stroma grâce à la pompe Na^+ / K^+ ATPase.

C. Rapports de la cornée :

a. Le Film lacrymal

Indispensable à l'épithélium → Fonctions métaboliques et optiques.

Epaisseur de 7 μm , Volume de $6,5 \pm 0,3 \mu\text{l}$ (98 % : Eau). Composé de 3 couches :

- Couche lipidique : 0.1 μm en contact avec l'air, sécrétée par les glandes de Zeiss et de Meibomius → Limite l'évaporation des larmes et favorise l'étalement du film lacrymal
- Couche intermédiaire aqueuse : Sécrétée par les glandes lacrymales.
- C'est la couche la plus épaisse du film lacrymal. Constituée d'eau (98 %) de mucines, d'électrolytes, de facteur de croissance, de protéines anti-inflammatoires et d'Ig.

Elle assure des fonctions de protection (effet antimicrobien et bactériostatique) et de nutrition de la cornée.

- Couche profonde mucineuse : riche en mucus sécrétée par les cellules caliciformes conjonctivales. Elle rend hydrophile la surface oculaire, permet l'adhésion et la stabilité du film lacrymal
- Rôle : Protection de la déshydratation. Nutrition / Oxygénation. Indice de R : 1,33.

b. Limbe cornéosclérale :

Anneau qui fait la jonction entre la périphérie cornéenne transparente et la sclère opaque. Zone charnière de plusieurs tissus l'uvée, la conjonctive, la sclérotique et la cornée périphérique.

- Sa face interne : limitée par l'éperon scléral en arrière et la ligne de Schwalbe en avant. Possède les éléments du Système excrétoire de l'HA : Trabéculum et Canal de Schlemm.

- Le limbe chirurgical est représenté par la limite antérieure de l'espace décollable entre la 0,5 mm en arrière de la limite antérieure du limbe anatomique.

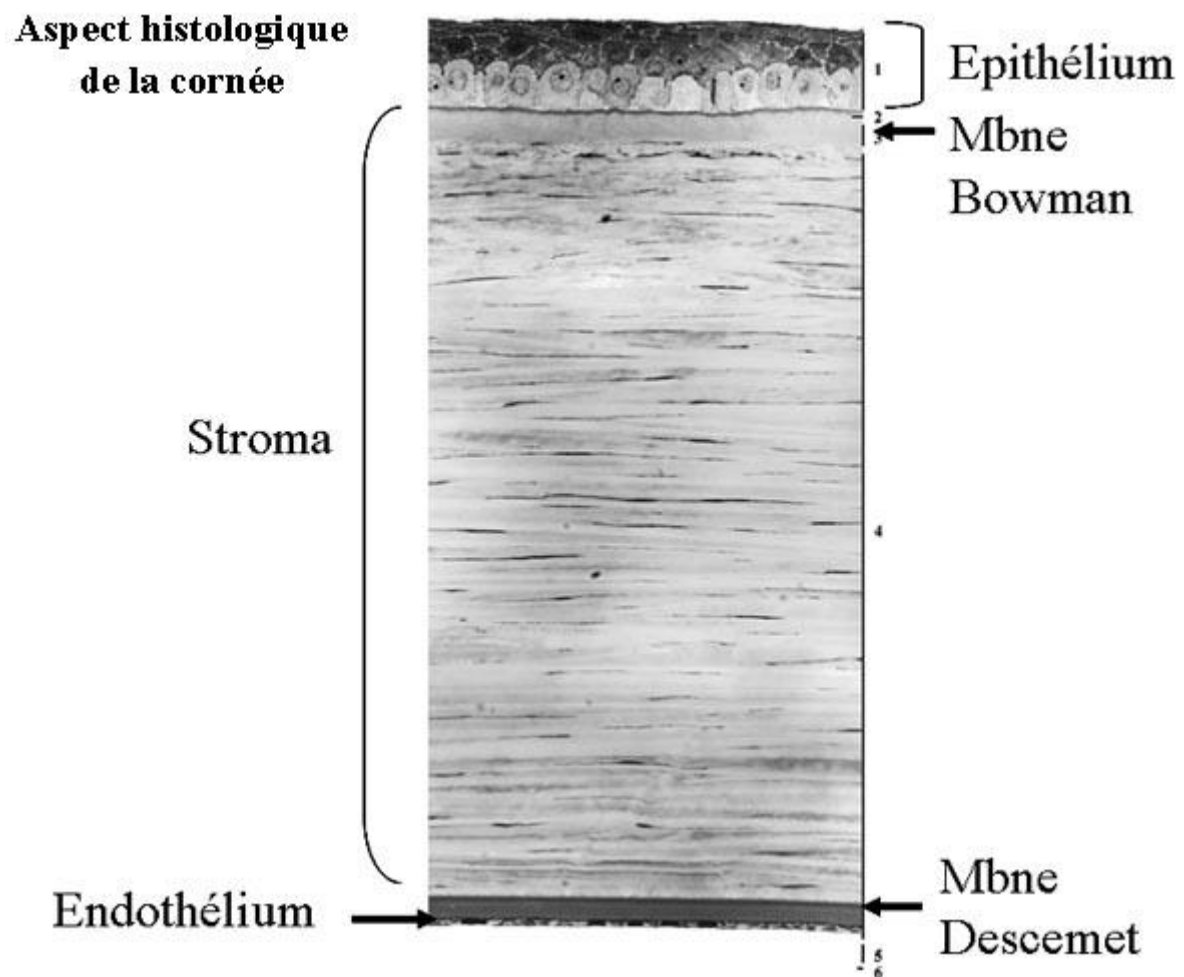
On trouve à ce niveau les cellules souches limbiques caractérisées par leur renouvellement rapide et continu, il joue un rôle dans les phénomènes de cicatrisation.

La vascularisation limbique est de type terminal favorisant une richesse en médiateurs de l'inflammation, le limbe étant un site privilégié de l'inflammation.

c. Chambre antérieure et humeur aqueuse :

En rapport avec l'endothélium cornéen (face postérieure de la cornée)

L'humeur aqueuse est un liquide limpide, qui se trouve dans les CA et CP de l'œil. Formée au niveau des procès ciliaires à partir du plasma ,sécrétée dans la chambre postérieure.



Coupe histologique montrant les différentes couches de la cornée

II-PHYSIOLOGIE

A. Propriétés physiques ,optiques et chimiques

a. Propriétés mécaniques

Rôle dans la résistance mécanique à la PIO, la protection des milieux endoculaires + Propriété élastique Répressible : TO aplanation.

Mb de Descemet : élastique et résistante à l'action des enzymes protéolytiques.

b. Propriétés optiques :

C'est le premier et le principal dioptre oculaire, puissance à 43D.

- Transmission de lumière : elle transmet 85% de la lumière, ceci est favorisé par l'uniformité du diamètre des fibrilles, et de la distance inter-fibrillaire du stroma

- Réfraction de la lumière : PR = Pouvoir de l'interface antérieure (+48D) + pouvoir de l'interface post (-5D). L'interface antérieure : 2 interfaces : Air film lacrymal /FL-Cornée. Interface post : Endothélium –Humeur aqueuse .

- Réflexion de la lumière : La cornée se comporte comme un miroir convexe.

- 2 Zones : zone centrale où les propriétés optiques sont les meilleurs et zone périphérique plus aplatie. La cornée é d'autant plus puissante qu'elle est courbe.

c. Transparence cornéenne :

Qualité principale, elle dépend de :

1. Régulation de l'hydratation cornéenne : Déturgescence cornéenne : condition nécessaire à la transparence. Cette hydratation dépend de plusieurs facteurs :

1.1. Epaisseur cornéenne et pressions (PIO, PI, PG) : la PI (P d'imbibition du stroma) qui augmente avec la PG (P de gonflement du stroma), qui tend à créer une rétention d'eau au niveau du stroma et qui est contrebalancé par la pompe endothéliale et qui diminue avec la PIO qui tend à créer une sortie d'eau hors du stroma $PI = PIO - PG$.

1.2. Rôle de l'endothélium : La barrière endothéliale est due aux jonctions intercellulaire (Tight Junction), perméable à l'eau mais bloquent les grosses molécules

- Les mouvements de l'eau à travers l'endothélium dépendent essentiellement de la pompe endothéliale : $Na^+ / K^+ ATPase$. Elle transporte le Na^+ hors de la cellule vers les EIC et le K^+ à l'intérieur de la cellule ($3Na^+$ pour $2K^+$).

- Ce transport est lié aux mouvements de HCO_3^- , L'anhydrase carbonique des cellules endothéliales libère de HCO_3^- $HCO_3^- \leftrightarrow$ dans la CA en catalysant sa production $CO_2 + H_2O \rightarrow H^+ + HCO_3^-$.

Le fonctionnement de la pompe endothéliale nécessite la présence du glucose, de l' O_2 et des bicarbonates, il est donc important d'utiliser en chirurgie des solutés d'irrigation de la CA, dont la composition est équivalente à celle de l'HA.

1.3. Rôle de l'épithélium : La barrière épithéliale repose sur des jonctions étanches (zonale occludens) + glycocalyx à la surface des cellules superficielles. Elle s'oppose au flux liquidien des larmes vers le stroma cornéen. Le flux net de Na et du Cl se fait à travers l'épithélium vers les larmes et contribue à la déturgescence cornéenne.

2. Structure du collagène : L'agencement organisé des lamelles :
Transparence.

3. Protéoglycanes : Rôle de tampon électrostatique maintient espace inter-F re fixe.

4. Pauvreté en cellules stromales et l'absence de vascularisation.

III INNERVATION

- La cornée est l'un des tissus les plus innervés et les plus sensibles
- Le stroma post, la membrane de Descemet et l'endothélium sont dénués de toute innervation sensitive.

A.Caractéristiques et PRINCIPES de mesure des PACHYMETRES

a. Le pachymètre optique de la lampe à fente

Il est actuellement peu utilisé et est supplanté par des techniques automatiques pour lesquelles l'expérience de l'opérateur a peu d'influence sur les résultats de la mesure.

Le principe de l'oculaire à coïncidence de GOLDMAN(1932) monté sur une lampe à fente était fondé sur l'observation simultanée des reflets antérieurs et postérieurs de la cornée

Un procédé optique dédoublait l'image de la cornée à partir d'un rayon incident constitué d'une fente fine et très lumineuse. On amenait à coïncidence la face postérieure de l'une des images avec la face antérieure de l'autre.

Il s'agissait en fait de mesurer à la lampe à fente l'épaisseur apparente de la cornée sous un angle défini. Connaissant l'angle d'observation, le rayon de courbure et l'indice de réfraction de la cornée on en déduisait ensuite l'épaisseur réelle de la cornée.

La précision des mesures dépendait beaucoup de la coopération du patient et était limitée en raison entre autres de la mobilité du globe oculaire. Seules des mesures centrales étaient possibles. En périphérie, les mesures deviennent imprécises à cause du manque de parallélisme entre les 2 surfaces cornéennes. La mesure était assez subjective (grande variabilité interobservateur) et nécessitait un apprentissage.

Cette technique peu onéreuse, non invasive, pouvait donner aux opérateurs entraînés une mesure de l'épaisseur cornéenne centrale suffisamment précise pour permettre le suivi de cornées œdémateuses .

Le développement de la chirurgie réfractive cornéenne a rendu nécessaire l'apparition d'une technique plus précise et permettant des mesures en périphérie : la pachymétrie ultrasonique.

Exemple :Le pachymètre optique de la lampe à fente haag streit

b. Les pachymètres à ultrasons

b.1. Caractéristiques :

C'est une technique contact très rapide(technique de référence) .

Le pachymètre a un faible encombrement et un cout modéré. La précision de la mesure est excellente avec une variabilité intra examinateur de $\pm 1\%$ et inter examinateur de $\pm 2\%$.

La sonde du pachymètre doit être appliquée perpendiculairement au centre de la cornée. Trois mesures consécutives donnant des résultats compris dans un intervalle de 10 μm suffisent .on prendra alors soit la plus faible des 3 mesures soit la moyenne des trois.

La sonde doit être décontaminée entre deux patients. Celle ci est trop fragile pour pouvoir subir une décontamination parfaite (bain dans la soude puis autoclave).le protocole suivant peut être utilisé sans endommager la sonde :

- ▼ Alkazym (Alkapharm) : bain de 5 minutes (1 sachet /5 litre d eau osmosée, validité 8 jours ,bain renouvelé tous les jours
- ▼ Rinçage à l'eau osmose
- ▼ Séchage

Les pachymètres à ultrasons sont des instrument portables et peuvent être utilisés en peropératoire.

b.2. INCONVENIENTS :les mesures dépendent du contact entre la cornée et la sonde, ce qui peut conduire à une distorsion de la surface oculaire et changer donc la valeur pachymétrique.

Plusieurs études ont montré que la compression entraînée par la sonde peut changer l'épaisseur du film lacrymal de 7-40 μm et pourrait réduire l'épaisseur épithéliale, ce qui entraîne des erreurs de mesures .

Une autre limite de la PU est l'utilisation obligatoire de l'anesthésie topique avant chaque mesure. Un Changement dans l'ECC de $\pm 10 \mu\text{m}$ après une instillation d'anesthésique topique a également été rapportée .

b.3.Principe de Mesure :

Mesurent le temps d'aller retour des ultrasons (longueur d'onde : $\lambda = 0,1 - 1 \times 10^6 \text{ nm}$) entre la face postérieure et la face antérieure de la cornée.

La vitesse des ultrasons dans la cornée étant fixée à 1640m/s le calcul de l'épaisseur cornéenne est réalisée en multipliant la vitesse par la moitié du temps d'aller retour. Les ultrasons se propagent dans un milieu homogène avec de faibles pertes. Les variations d'impédance acoustique entre 2 milieux provoquent des modifications importantes de l'énergie transmise ou réfléchi.

Cette propriété permet de détecter une discontinuité du milieu. Le transducteur de la sonde de **pachymétrie** est composé d'un cristal piézoélectrique qui convertit l'énergie électrique en ondes acoustiques et inversement. La sonde contenant le transducteur est placée contre la cornée anesthésiée et émet un faisceau d'ultrasons. Lorsque l'onde acoustique traverse l'interface cornée-humeur aqueuse, le transducteur enregistre un écho correspondant à l'onde réfléchi. L'appareil calcule le temps mis par l'onde acoustique pour traverser la cornée, puis déduit à partir de la célérité du son dans la cornée, l'épaisseur de la cornée.

b.4.Exemple de différents pachymètres ultrasonores sur le marché :

TOMEY SP-3000 ;

TOMEY AL-4000 ;

MICRO MEDICAL DEVICES PalmScan P2000FP-BT

SONOGAGE Corneo-Gage Plus ;

CCUTOME Pach-Penn ;

SONOMED MicroPach 200P+ ;

DGH TECHNOLOGIES 55B Pachmate 2 ;

300A –PACSCAN PLUS (SONOMED)

c. La réflectométrie en cohérence optique

c.1. Caractéristiques :

C'est une technique non contact ,rapide mais dont le coup est élevé et l'encombrement est important car le système requiert une lampe à fente dédiée.

Expérimentalement, sur des cornées porcines, la précision de l'appareil est de 1 μm .

Le réflectomètre en basse cohérence optique a l'avantage de fournir d'autres mesures : longueur axiale, profondeur de la chambre antérieure, kératométrie et épaisseur du cristallin

c.2.Principes de Mesure :

Utilise une source lumineuse infrarouge qui est réfléchiée par les interfaces de la cornée. Elle mesure le temps de réflexion de la face antérieure et la face postérieure de la cornée, ce qui permet la mesure l'épaisseur cornéenne

A partir de ce principe les appareils utilisables peuvent êtres soit dévolus à la seule mesure de l'épaisseur cornéenne soit réalisées une coupe permettant une étude morphologique de celle-ci(tomographie en cohérence optique+).

c.3.Exemple de biomètres non contact disponibles sur le marché :

IOIMaster500 ;

IOLMASTER700(ZEISS) ;

AL -SCAN(NIDEK);

US 4000(NIDEK)

d. Les microscopes spéculaires et confocales

d.1. Caractéristiques :

C'est une technique contact ou non contact.

l'appareil a un cout élevé .

il est encombrant et l'examen est long.

la précision de la mesure est faible , mais l'appareil permet une mesure de la densité endothéliale et visualise les cornea guttata et les syndromes ICE et autorise une analyse morphologique de l'épithélium cornéen et conjonctival.

d.2. Principes de Mesure :

permettent de visualiser la cornée , les plans successifs parallèles à la surface cornéenne.ils comportent un système de mesure de la distance du plan focal. Ce système est remis à zéro lors de la mise au point sur l'épithélium puis la focalisation est faite sur l'endothélium ce qui permet d'obtenir une mesure de l'épaisseur cornéenne.

La microscopie confocale haute résolution est une nouvelle méthode d'imagerie non invasive d'imagerie numérisée. il est possible d'obtenir une résolution spatiale très élevée(jusqu'à 0,2 μm) aux prix d'une réduction du champ d'observation.

La précision de la technique inférieure à 5 μm permet une mesure de l'épaisseur cornéenne.

d.3.différents microscopes spéculaire sur le marche

EM-4000(TOMEY) ;

REM 300 RODENSTOCK ;

SW9000 SUOER ;

CEM 530 NIDEK;

CELCHEK EB10 KONAN MEDICAL

e. La tomographie en cohérence optique (OCT)

Nouvelle technique non invasive qui combine l'utilisation de l'interférométrie de haute sensibilité et une source lumineuse de basse cohérence .

Les trois couches de la cornée sont bien individualisées en raison de leurs différence de réflexion(hyper réflectivité de l'épithélium , hypo réflectivité du stroma).

La réalisation de la pachymétrie est possible en raison de la bonne résolution spatiale qui peut actuellement atteindre 10µm mais la précision reste pour le moment inférieure à celle de la pachymétrie ultrasonique.

Ø Exemple de tomographe disponible sur le marché :

Zeiss cirrusHD ;

Optovue RTvue ;

Optopol opernicus;

Topcon3D-OCT;

Nidek RS 3000;

Canon OCT HS-100

f. Pachymétrie par fente lumineuse : orbscan (système optique)

f.1.Caractéristiques :

C'est une technique non contact. L'appareil a un cout élevé, il est encombrant et l'examen est long.par contre il fournit une mesure de la profondeur de la chambre antérieure et une évaluation de l'angle iridocornéen.la précision et l'exactitude de la mesure diminuent en cas d'opacités cornéennes.

La mesure précise et étendue de l'épaisseur cornéenne et de ses variations est fondamentale pour la détection des formes frustes de kératocône; elle joue un rôle essentiel pour prévenir l'ectasie post LASIK.

f.2. Principes de Mesure :

Le topographe Orbscan permet d'étudier les variations de la courbure de la cornée.

Il réalise un balayage optique grâce à des fentes lumineuses qui « scannent » la cornée, ce qui permet de reconstruire tridimensionnellement le volume cornéen, et d'étudier les variations du relief cornéen non seulement antérieur mais également postérieur.

L'épaisseur « point par point » de la cornée peut être calculée. Cette épaisseur correspond simplement à la « distance » entre les faces antérieure et postérieure de la cornée. Il est également muni d'un disque de Placido qui permet un recueil direct de données de la courbure antérieure de la cornée.

g. Topographie par camera rotative Scheimpflug

Utilise une caméra Scheimpflug et une source de lumière monochromatique (led bleue à 475 nm) qui tournent ensemble autour des axes optiques de l'œil. Dans les 2 secondes, le système pivote de 180° et acquiert 25 ou 50 images (en fonction des paramètres de l'utilisateur) contenant 500 points de mesure pour dessiner une vraie carte d'élévation. Le patient est invité à placer le menton sur une mentonnière et garder les deux yeux ouverts puis fixer une cible clignotante au centre de la caméra. Dès que l'image était parfaitement alignée, le patient est demandé à ne pas bouger et le scan commence.

Le centre de la cornée est mesuré dans chacune des images individuelles d'un scan. Il devrait donc être possible de calculer très précisément l'ECC.

Les topographes Orbscan et Pentacam effectuent une mesure complète de la surface cornéenne, optique – sans toucher la cornée, ce qui permet la lecture continue de l'épaisseur cornéenne et de ses variations, et non simplement d'un ou plusieurs points isolés. La possibilité déterminer l'épaisseur de tous les points de la cornée permet de s'assurer que la zone où se trouve le point plus « mince » n'est pas manqué. Elle permet aussi d'apprécier la manière dont l'épaisseur de la cornée varie entre le centre et les bords de celle-ci (gradients d'épaisseur).

Ø Exemples de topographes sur le marché :

OPD-Scan III(Nidek)

TMS-4N(Tomey)

Topcon CA-800;

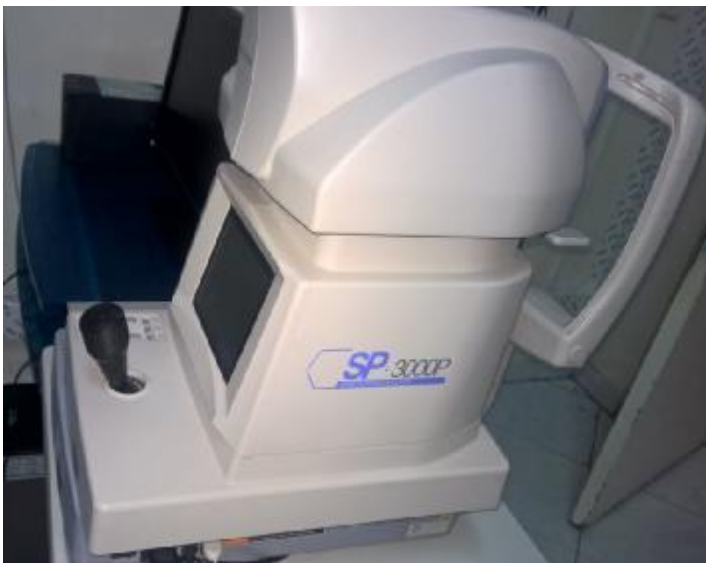
Les différents pachymètres du service



le pachymètre à ultrasons Pac Scan 300P(SONOMED)



le biomètre non contact LS 900 LENSTAR
(pachymètre à basse cohérence optique)



l'unité de microscopie spéculaire du service SP 3000P



le topographe PENTACAM OCULUS

INTERETS ET

INDICATIONS DE LA

PACHYMETRIE

La mesure de l'épaisseur cornéenne centrale (ECC) est devenue de plus en plus une partie indispensable de l'examen ophtalmologique.

Une mesure précise de l'ECC est d'une importance capitale dans l'évaluation des changements physiologiques et pathologiques dans la cornée.

L'épaisseur de la cornée étant liée de façon linéaire à l'hydratation du stroma. C'est le seul examen simple qui permet de quantifier, bien que de manière indirecte, l'état d'hydratation de la cornée.

La pachymétrie nous a appris que la cornée présente de variations physiologiques nycthémérales importantes (épaisseur maximale le matin et diminution progressive au cours de la journée). L'évaporation explique la majeure partie des variations diurnes de l'épaisseur cornéenne. En plus de ces variations diurnes, il existe d'autres variations physiologiques importantes, aussi bien intra qu'inter-individuelles.

La mise en place du blépharostat augmente l'influence des facteurs extérieurs sur l'hydratation de la cornée. L'hydratation de la cornée peut être influencée au bloc opératoire par l'état de l'épithélium (intact ou altéré), l'osmolarité du liquide d'irrigation, la chaleur du microscope. Ainsi, de grandes variations individuelles ont été retrouvées entre la mesure effectuée 20 mn avant la chirurgie et la mesure effectuée en peropératoire (extrêmes : - 37 mm, + 22 mm).

Contrairement aux autres données biométriques telle que la longueur axiale qui est relativement stable avec le temps, la pachymétrie est éminemment variable. Compte tenu des variations nycthémérales de l'épaisseur cornéenne, il est préférable de réaliser la pachymétrie en peropératoire.

Une mesure précise de l'ECC est d'une importance capitale dans la planification des patients candidats pour la chirurgie réfractive ou dans le cross linking des kératocône évolutifs.

La détermination de l'épaisseur minimale et sa localisation est utile en chirurgie réfractive. La détection des kératocônes méconnus est la priorité de l'examen préopératoire de la chirurgie réfractive.

Outre la déformation de la surface cornéenne antérieure, le kératocône provoque un amincissement localisé de la cornée. Cette caractéristique a été utilisée, avant le perfectionnement des techniques d'analyse de la surface cornéenne, pour le diagnostic des kératocônes . La réalisation d'un LASIK sur une forme non diagnostiquée de kératocône est la première cause d'ectasie post LASIK.

Il est également utile de connaître précisément l'épaisseur de la cornée avant une chirurgie réfractive, pour choisir et déterminer les modalités d'une technique opératoire, en alliant efficacité et sécurité . C'est d'ailleurs l'essor de la chirurgie réfractive incisionnelle qui a conduit à la diffusion de la pachymétrieultrasonique.

La mesure centrale est la plus importante car c'est en général sur sa valeur qu'est réglée l'avancée de la lame.

En outre, l'ECC influence la pression intraoculaire (PIO) et constitue un facteur de risque pour la progression de l'hypertonie oculaire (OHT) dans glaucome primitif à angle ouvert (POAG) . il est indispensable que la mesure de la PIO faite au tonomètre à aplantions de GOLDMAN devrait être corrigée en fonction de l'épaisseur cornéenne (plus la cornée est fine plus la PIO est sous estimée ;plus la cornée est épaisse plus la PIO est surestimée).

NOTRE ETUDE

MATERIEL

ET METHODES

I- Matériel

- § Il s'agit d'une étude prospective faite sur une durée de 6 mois au sein du service d'ophtalmologie du CHU Hassan II de Fès , incluant 55 sujets sains , soit 110 yeux .
- § les deux yeux des volontaires ont été examinés après avoir obtenu un consentement éclairé .Tous les patients suivis pour une pathologie oculaire ou ayant un antécédent de chirurgie de cataracte , glaucome ... ont été exclus .
- § L'épaisseur cornéenne centrale a été mesurée 3 fois de suite par 4 appareils différents et le même examinateur .
- § La moyenne de 3 mesures consécutives ayant un écart inférieur à 5 μ m a été retenu.
- § Les différents pachymètres : microscopie spéculaire (MS) (Topcon SP-3000P), Pentacam (PC) (Oculus , Wetzlar, Allemagne), biomètre non contact(LES) (LenStar LS900, Haag-Streit AG, Suisse), et pachymètre à ultrasons (PU)(pascann300, Sonomed).
- § La durée de chaque examen a été mesurée par un observateur indépendant.
- § La PU a été réalisée en dernier dans tous les cas pour être un test de contact.

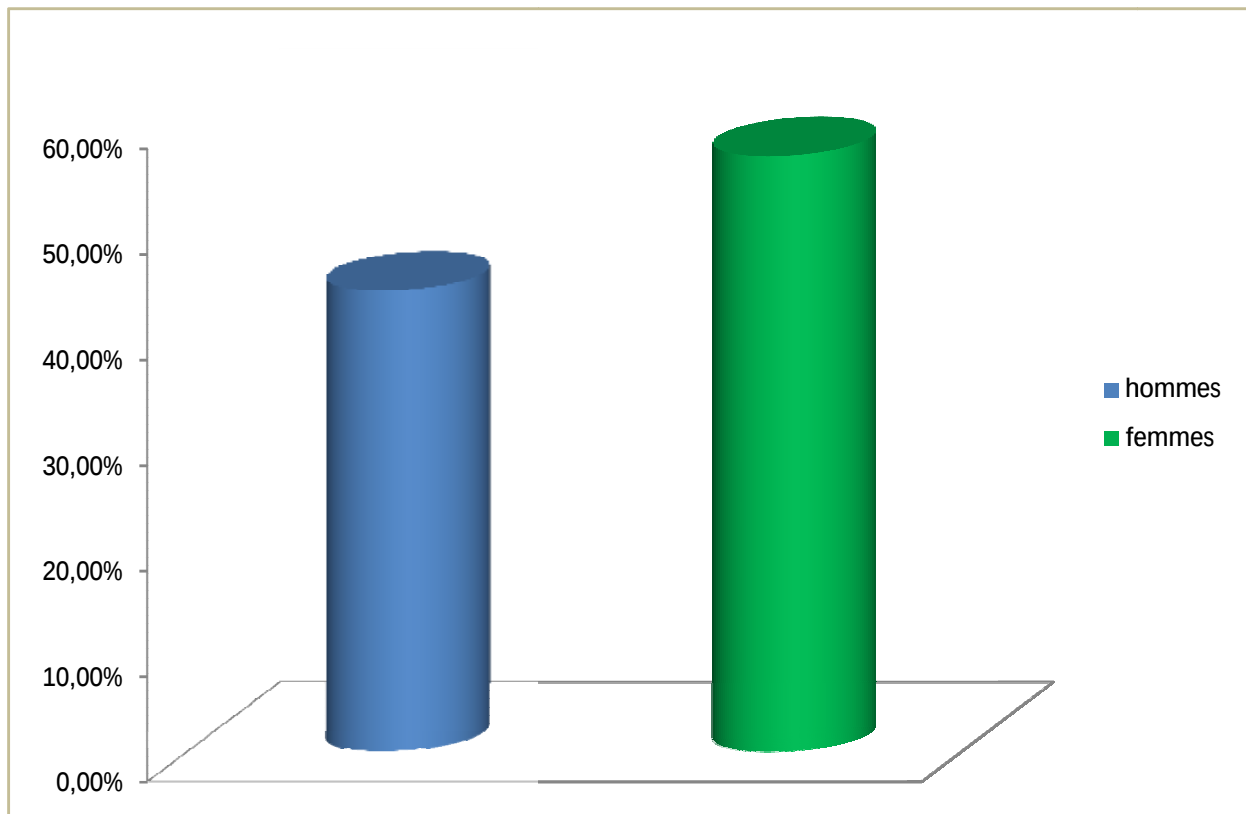
II - METHODES

- § Les données ont été saisies sur un fichier Excel et analysées par le logiciel epi info version 7.
- § Les variables quantitatives ont été présentées en terme de moyenne ,écart type, et valeurs extrême et les variables qualitatives en terme de pourcentage % .
- § Une corrélation de pearson a été estimée entre les pachymètres en utilisant le coefficient (r) de différentes significations.

RESULTATS

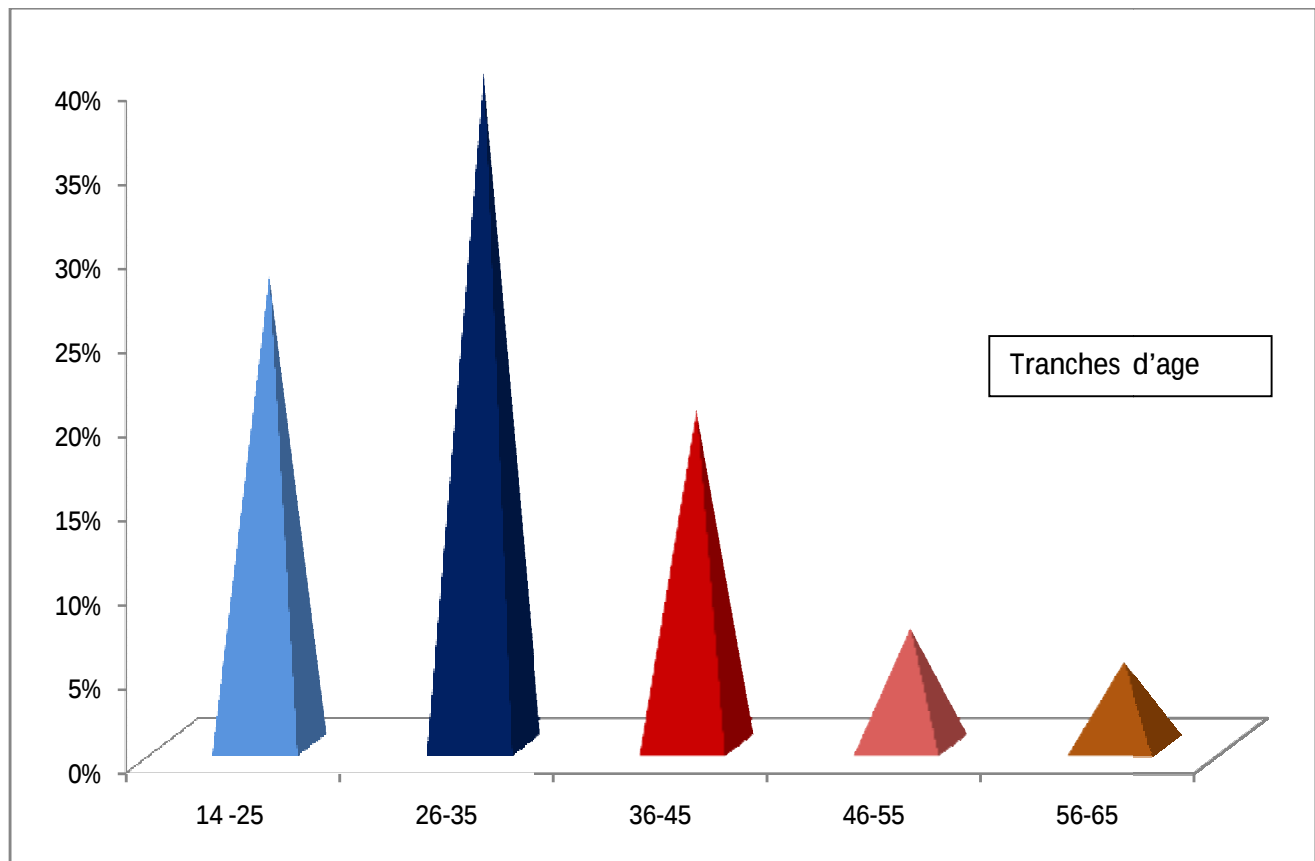
I-Description de la population étudiée :

110 yeux ont été inclus ,dont 48 (43,6%) yeux d'hommes et 62 (56,4%) de femmes .



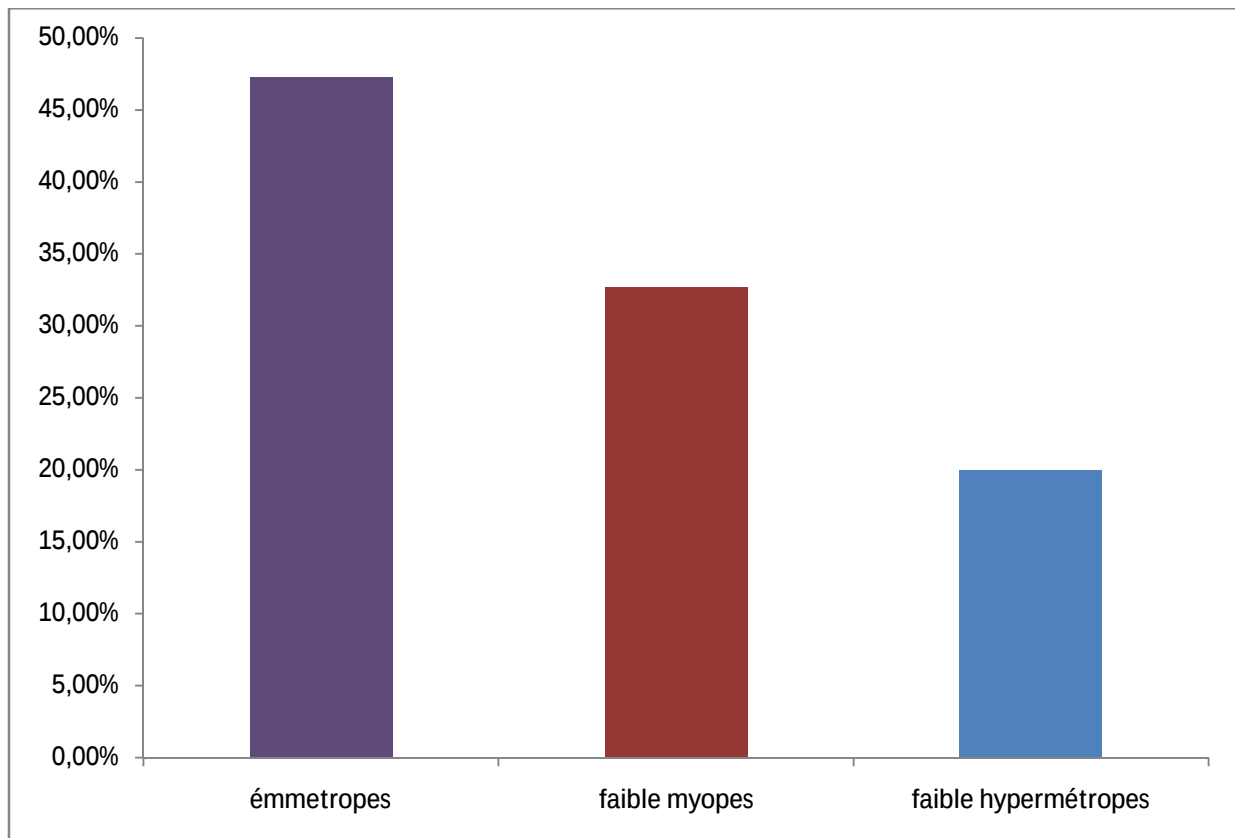
Répartition en fonction du sexe

L'âge moyen était de 30,51 ($\pm$ 11,208) ans avec des extrêmes allant de 14 à 61 ans .



Répartition en fonction de l'âge

Réfraction : 47,3% des patients étaient emmétropes, 32,7% étaient des faibles myopes (Sphère < 3 Dioptries) et 20% étaient des faibles hypermétropes.



Répartition en fonction de la réfraction

II- Analyse descriptive :

A. L'épaisseur cornéenne centrale moyenne :

L'épaisseur centrale moyenne mesurée par la pentacam est de 15 à 20µm supérieure à celles obtenues par le reste des pachymètres.

La pachymétrie moyenne obtenue par la MS est de - / + 20 µm inférieure par rapport à celle mesurée par la Pentacam

Pachymètres	nombre	minimum	maximum	Moyenne	Ecart type
Pentacam	110	445	590	530	27,94
Pachymètre à ultrasons	110	420	610	525	33,61
Microscopie spéculaire	110	435	570	509	28,304
Biomètre non contact(LES)	110	450	585	524	26,50

B. Pachymétrie et sexe :

L'épaisseur cornéenne centrale était légèrement supérieure chez les hommes par rapport aux femmes

	Hommes	Femmes
Pentacam	534 ± 32,30	526 ± 30,09
Pachymètre à ultrasons	528 ± 28,23	522 ± 26,71
Microscopie spéculaire	515 ± 20,15	506 ± 20,31
Biomètre non contact(LS)	530 ± 25,82	520 ± 22,71

C. Pachymétrie et âge :

▼ Pas de différence statiquement significative

D. Pachymétrie et réfraction :**a. PENTACAM (PC)**

La pachymétrie moyenne est la même chez les émétropes et les hypermétropses (531 μ m) , et légèrement diminuée chez les faibles myopes

réfraction	Moyenne	N	Ecart - type
émétropes	531,02	52	29,494
Myopes	527,81	36	22,017
hypermétropses	531,91	22	33,658
Total	530,08	110	27,948

b. Pachymètre à ultrasons (PU)

Les myopes présentent une pachymétrie moyenne inférieure de +/- 15 μ m par rapport aux émétropes et hypermétropses

réfraction	Moyenne	N	Ecart - type
émétrype	529,12	52	31,139
Myope	515,56	36	27,563
Hypermétrype	530,45	22	46,571
Total	525,04	110	33,613

c. Microscopie spéculaire

L'épaisseur cornéenne centrale chez les emmétropes est supérieure de 6 à 12 μm par rapport à celles des hypermétropes et myopes

réfraction	Moyenne	N	Ecart - type
emmétrope	515,23	52	28,711
Myope	503,33	36	26,373
hypermétrope	509,86	22	29,039
Total	509,47	110	28,304

d. Biomètre non contact (LS)

On note chez les myopes une épaisseur cornéenne moyenne légèrement diminuée(519 μm) par rapport aux emmétropes et hypermétropes(527 μm)

réfraction	Moyenne	N	Ecart - type
Emmétropes	527,10	52	28,556
Myopes	519,56	36	23,006
hypermétropes	527,27	22	26,644
Total	524,64	110	26,506

E. La corrélation entre les différents pachymètres :

	Corrélation de pearson
PU-PC	0,920
MS-PU	0,865
LES-PU	0,945
LES-PC	0,911
MS-LES	0,855
MS-PC	0,845

- § L'analyse de la corrélation de pearson a montré que la corrélation la plus satisfaisante était entre le LES et le PU , suivi de PU-PC puis LES-PC
- § La MS avait la corrélation la plus basse avec le reste des pachymètres.

F. Le temps de mesure moyen :

Pachymetres	Temps de mesure moyen(sec)
PU	12 [6 - 20]
PC	30[15 - 52]
MS	10[7 - 16]
LES	20[12 - 43]

§ Nos résultats ont montré un usage plus rapide pour la MS et le pachymètre à ultrasons, réduisant ainsi le temps de mesure global.

DISCUSSION

I. PACHYMETRIE ET AGE

Susuki *et al.* ont montré, sur une étude portant sur 7 313 adultes japonais, une décroissance de la pachymétrie en fonction de l'âge.

On peut donc légitimement se demander s'il n'existerait pas un mode d'évolution triphasique de la pachymétrie, avec une augmentation progressive de la naissance jusqu'à un certain âge (entre 5 et 9 ans), une phase de d'équilibre, et puis une décroissance plus tardive.

Dans notre série, on ne trouve pas de différence statistiquement significative, vu que la majorité des patients appartenaient à la même tranche d'âge.

II. PACHYMETRIE ET SEXE

Nous avons noté dans notre étude une pachymétrie moyenne supérieure de 8µm chez les hommes par rapport aux femmes.

D'autres études faites chez l'adulte retrouvent ce phénomène avec une différence moyenne de 7,1 µm pour Susuki *et al.*, et de 5,79 µm pour Li *et al.* L'European Glaucoma Prévention Study Group décrit le même phénomène.

III. PACHYMETRIE ET REFRACTION

Chez l'adulte, Touzeau *et al.* ont montré que l'épaisseur cornéenne centrale était inférieure chez les myopes forts par rapport au reste de la population (emmétropes, myopes faibles et hypermétropes).

A contrario, Susuki *et al.* ont montré que la pachymétrie et la réfraction étaient corrélées négativement chez les adultes japonais masculins.

Dans notre étude, l'ECC était légèrement diminuée chez le faible myope et presque la même chez l'emmétrope et le faible hypermétrope.

IV. COMPARAISON ET CORRELATIONS ENTRE LES DIFFERENTS PACHYMETRES:

Dans cette étude, nous avons calculé puis comparé la corrélation entre les Mesures de l'ECC obtenues à l'aide des quatre pachymètres : PC, LES 900, PU et SM.

nous avons constaté que le LE-UP présente la corrélation la plus satisfaisante , suivi de PC-UP et de la LE-PC. Cela a également été rapporté par des publications antérieures.

Dans une étude de 184 yeux, Tai et Al , ont également trouvé une corrélation étroite entre LE et UP. Ce résultat est en parfait accord avec une autre étude de Beutelspacher et al. , qui a comparé la valeur de l' ECC obtenue avec OCT, LE, PC et UP montrant aussi de bonnes corrélations.

Malgré le nombre d'études montrant une bonne corrélation entre les mesures obtenues par le PU et celles obtenues par la PC, Tai et al. ont affirmé récemment que l'ECC moyenne mesurée avec la PC était de 10µm supérieure à celle mesurée avec le PU , ce qui se concorde bien à nos résultats. Cela pourrait s'expliquer car le pachymètre PC peut inclure le film lacrymal précornéal dans la mesure de l'épaisseur de la cornée, tandis que la sonde du PU déplace le film lacrymal et comprime la surface cornéenne, sous-estimant ainsi la valeur de la mesure.

D'autre part, il a été largement démontré ,que chez les sujets sains la MS donne des valeurs plus faibles de l'ECC par rapport à celles obtenues par le PU et la PC .

Almubrad et d'autres auteurs affirment que l'ECC était significativement sous-estimée par MS ($28,17 \pm 19,20 \mu\text{m}$) en comparaison avec La PU (facteur de corrélation entre les 2 méthodes 0,88) de sorte qu'ils ne peuvent être considérés

comme interchangeables. Des résultats similaires ont également été rapportés par Özlenen-Ucakhan et al. sur les yeux normaux ou avec kératocône débutant .notre étude trouve le même résultat.

Ces différences peuvent être dues aux différents principes de base qui guident chaque appareil. Alors que SM compte sur la réflexion de la lumière, l'UP dépend de la transmission du son ou par l'effet mécanique engendré par la sonde ultrasonique (indentation cornéenne et perturbation du film lacrymal).

Par ailleurs ,la microscopie spéculaire et la Pentacam ont un haut degré de confort pour le patient et sont moins opérateur dépendant. Ce sont des méthodes sans contact qui nécessitent pas d'anesthésie et sans aucun risque d'infections cornéennes. Malheureusement, il n'est pas tout à fait clair si les résultats des deux méthodes sont comparables et si elles peuvent être utilisé de manière interchangeable.

La pachymétrie de choix devrait être celle qui offre exactitude, précision et rapidité. Notre étude a révélé que l'accord LE avec le PU est excellent et cela, ajouté à la facilité de son utilisation. De plus, Notre expérience avec la SM et LES a montré un usage plus rapide d'autant plus que l'alignement et la capture d'image pour la MS sont automatisés, réduisant ainsi le temps de mesure global Néanmoins

Nos résultats sont limités à un échantillon de sujets sains.de futures études sont nécessaires pour déterminer si nos conclusions peuvent englober d'autres populations présentant des pathologies ophtalmologiques .

CONCLUSION

La mesure de l'épaisseur cornéenne est devenue de plus en plus une partie indispensable de l'examen ophtalmologique. Une mesure précise de l'ECC est d'une importance capitale dans l'évaluation des changements physiologiques et pathologiques dans la cornée.

Différentes techniques peuvent être utilisées pour mesurer l'épaisseur cornéenne moyenne : pachymétrie ultrasonore , pachymétrie en cohérence optique ,microscopie spéculaire, pachymétrie par caméra Scheimpflug .

La pachymétrie ultrasonore est la technique de référence. C'est une technique contact , très rapide dont la précision est très bonne.la corrélation entre la pachymétrie ultrasonore et la pachymétrie en cohérence optique est élevée (coefficient de corrélation proche de 1 %).

la microscopie spéculaire semble moins bien corrélée aux autres techniques .

Si l'on accepte de s'astreindre à la décontamination de la sonde entre deux patients la pachymétrie ultrasonore est la meilleure technique.dans le cas contraire la pachymétrie en cohérence optique semble être la technique la plus avantageuse.

RESUME

Introduction : La mesure de l'épaisseur cornéenne centrale (ECC) est devenue de plus en plus une partie indispensable de l'examen ophtalmologique. Une mesure précise est d'une importance capitale dans l'évaluation des changements physiologiques et pathologiques de la cornée. L'objectif de cette étude est de comparer 4 méthodes de mesures de l'épaisseur cornéenne centrale en terme de corrélations et de temps de mesure.

Matériel et Méthodes: il s'agit d'une étude prospective faite sur une durée de 6 mois au sein de notre service incluant 55 sujets sains , soit 110 yeux , dont l'épaisseur cornéenne centrale a été mesurée 3 fois de suite par 4 appareils différents : microscopie spéculaire (MS) (Topcon SP-3000P), Pentacam (PC) (Oculus , Wetzlar, Allemagne), biomètre non contact(LES) (LenStar LS900, Haag-Streit AG, Suisse), et pachymètre à ultrasons (PU)(pascann300, Sonomed). La durée de chaque examen a été mesurée par un observateur indépendant.

Résultats: L'âge moyen des sujets est estimé à 30 ans avec une légère prédominance du sexe féminin de 56,4%. Les épaisseurs cornéennes centrales moyennes pour la MS , PC,LES et PU étaient respectivement de : 509 , 530, 524 et 525µm .une analyse de corrélation de Pearson entre les différents pachymetres montre une corrélation satisfaisante entre LES et PU, suivi par PU -PC puis entre la PC - LES . L'accord le plus faible était entre la MS et la PC. Les épaisseurs mesurés par la SM étaient en moyenne de 15 à 20 µm plus fines que celles obtenues par les autres pachymètres. Les temps de mesure moyens étaient respectivement de 10 , 30, 20 et 12 secondes.

Discussion : Dans cette étude, nous avons comparé la corrélation et le temps de mesure entre 4 pachymètres différentes : SM, PC, LES et PU. Nous avons constaté

que PU-LES présente la plus forte corrélation , suivi de PU-PC puis LES-PC. Ceci concorde avec les résultats de la littérature. l'épaisseur cornéenne moyenne obtenue par PC était plus élevée que celle obtenue par PU d'environ 5 mm. Cela pourrait être du à la présence du film lacrymal qui est inclut dans la mesure faite par la pentacam. en revanche, la MS avait la plus mauvaise corrélation avec les autres pachymètres . Ceci est compatible aussi avec les études antérieures utilisant Topcon SP-3000P. La raison exacte de cette différence n'est pas claire, bien que la plupart des auteurs l'attribuent aux différents principes de fonctionnement des appareils. Dans notre étude, nous avons trouvé que la Pentacam était la plus lente à cause du temps nécessaire pour un bon alignement. Notre expérience avec la SM et LES a montré un usage plus rapided'autant plus que l'alignement et la capture d'image pour la MS sont automatisés, réduisant ainsi le temps de mesure global.

Conclusion: la mesure de l'épaisseur cornéenne centrale entre LES-PUet PU-PC sont comparables et peuvent être utilisés de manière interchangeable en pratique clinique. Cependant, La MS tend plutôt a sous-estimer cette mesure , alors que la Pentacam était le pachymètre qui a pris le plus de temps.

BIBLIOGRAPHIE

- 1-Central Corneal Thickness Measurements With Different Imaging Devices and Ultrasound Pachymetry Lai-Yong Tai, MBBS,* Keat-Ween Khaw, FRCOphth,* Choung-Min Ng, PhD,† and Visvaraja Subrayan, FRCOphth
- 2-Huang J, Pesudovs K, Wen D, et al. Comparison of anterior segment measurements with rotating Scheimpflug photography and partial coherence reflectometry. J Cataract Refract Surg. 2011;37:341–348.
- 3-O'Donnell C, Maldonado-Codina C. Agreement and repeatability of central thickness measurement in normal corneas using ultrasound pachymetry and the OCULUS Pentacam. Cornea. 2005;24:920–924.
- 4- Sedaghat MR, Daneshvar R, Kargozar A, et al. Comparison of central corneal thickness measurement using ultrasonic pachymetry, rotating Scheimpflug camera, and scanning-slit topography. Am J Ophthalmol.2010;150:780–789
- 5- Almubrad TM, Osuagwu UL, AlAbbadi I, et al. Comparison of the precision of the Topcon SP-3000P specular microscope and an ultrasound pachymeter. Clin Ophthalmol. 2011;5:871–876
- 6- Barkana Y, Gerber Y, Elbaz U, et al. Central corneal thickness measurement with the Pentacam Scheimpflug system, optical low-coherenc reflectometry pachymeter, and ultrasound pachymetry. J Cataract Refract Surg. 2005;31:1729–1735

- 7-Módis L Jr, Langenbucher A, Seitz B. Corneal endothelial cell density and pachymetry measured by contact and noncontact specular microscopy. J Cataract Refract Surg. 2002;28:1763–1769
- 8-López-Miguel A, Correa-Pérez ME, MirandaAnta S: Comparison of central corneal thickness using optical low-coherence reflectometry and spectral-domain optical coherence tomography. J Cataract Refract Surg 2012; 38: 758–764
- 9- Miglior S, Albe W, Guareschi M, Mandelli G, Gomasasca S: Intraobserver and interobserver reproducibility in the evaluation of ultrasonic pachymetry measurements of central corneal thickness. Br J Ophthalmol 2004; 88: 174–177.
- 10- Kiddee W, Horattanareung O: Intraoperator repeatability and interoperator reproducibility in the ultrasonic pachymetry measurements of central corneal thickness. J Med Assoc Thai 2009
- 11- 27 González-Pérez J, González-Meijome JM, Rodríguez Ares MT: Central corneal thickness measured with three optical devices and ultrasound pachymetry. Eye Contact Lens 2011; 37: 66–70.
- 12- Özlenen-Ucakhan Ö, Özkan M, Kanpolat A: Corneal thickness measurements in normal and keratoconic eyes: Pentacam comprehensive eye scanner versus noncontact specular microscopy and ultrasound pachymetry. J Cataract Refract Surg 2006; 32: 970–977.

- 13- De Sanctis U, Missolungi A, Mutani B, Richiardi L, Grignolo FM: Reproducibility and repeatability of central corneal thickness measurement in keratoconus using the rotating Scheimplug camera and ultrasound pachymetry. Am J Ophthalmol 2007; 144: 712–718.
- 14- Agreement between Central Corneal Thickness Measured Using Pentacam, Ultrasound Pachymetry, Specular Microscopy and Optic Biometer Lenstar LS 900 and the Influence of Intraocular Pressure Borrego-Sanz . Sáenz-Francés M. Bermudez-Vallecilla
- 15- Sanchis-Gimeno JA, Lleo-Perez A, Alonso L, Rahhal MS, Martinez-Soriano F. Anatomic study of the corneal thickness of young emmetropic subjects. Cornea, 2004;23:669-73.
- 16- coleman Dj ;jack RL ultrasonography of eye and orbit phyladelphia lea 1977;113-4
- 17- Sanchis-Gimeno JA, Lleo-Perez A, Alonso L, Rahhal MS, Martinez-Soriano F. Anatomic study of the corneal thickness of young emmetropic subjects. Cornea, 2004;23:669-73.
- 19- Gonzalez-Perez J, Gonzalez-Meijome JM, Rodriguez Ares MT, et al Central corneal thickness measured with three optical devices and ultrasound pachometry. Eye Contact Lens. 2011;37:66–70

- 20- Chaudhry IA: Measurement of central corneal thickness in health and disease. Saudi JOphthalmol 2009;
- 21-Coste R, Cornand E, Denis D: Pachymétrie cornéenne centrale dans la population pédiatrique par microscopie spéculaire non cont
- 22-Schulle KL, Berntsen DA: Repeatability of on and off-axis eye length measurements using the Lenstar. Optom Vis Sci 2013;
- 23- Holzer MP, Mamusa M, Auffarth GU. Accuracy of a new partial coherence interferometry analyser for biometric measurements. Br J Ophthalmol. 2009;93:807–810.
- 24- Cruysberg LPJ, Doors M, Verbakel F, et al. Evaluation of the Lenstar LS 900 non-contact biometer. Br J Ophthalmol. 2010;94:106–110.
- 25- Nam SM, Im CY, Lee HK, et al. Accuracy of RTVue optical coherence tomography, Pentacam, and ultrasonic pachymetry for the measurement of central corneal thickness. Ophthalmology. 2010;117:2096–21