SENSIBILITÉ AU CONTRASTE – BASSES FRÉQUENCES

AUTEUR

Thomas Salmon: Northeastern State University, États-Unis

RÉVISION PAR LES PAIRS

Scott Steinman: Southern California College of Optometry, États-Unis

CE CHAPITRE INCLUT UNE RÉVISION DE :

- La sensibilité au contraste et les basses fréquences spatiales
- La propriété d'analyse de Fourier du système visuel
- La filtration spatiale neurologique
- Acuité visuelle versus sensibilité au contraste
- Articles

RÉSUMÉ

La Figure 16-1 ci-dessous montre une fonction de transfert de modulation (FTM) et deux fonctions de sensibilité au contraste (FSC) hypothétiques pour l'œil humain. Elles sont essentiellement pareilles pour de basses fréquences spatiales, mais diffèrent largement pour des hautes fréquences. Référez-vous à cette figure pour répondre aux questions suivantes.

Q. Laquelle de ces courbes montre un œil avec la meilleure qualité optique? La pire?

R. _____

Q. Expliquez qu'est-ce qui limite la résolution pour chacun des trois cas.

R. _____

RÉSUMÉ (SUITE)

Q. Supposons que l'espacement entre le centre de deux cônes est de 2 µm et qu'une surface rétinienne de 300 µm correspond à 1 degré d'angle visuel. Calculez l'acuité visuelle Snellen maximale que cet œil peut avoir si toutes ses erreurs réfractives (incluant les aberrations d'ordre supérieur) étaient parfaitement corrigées.

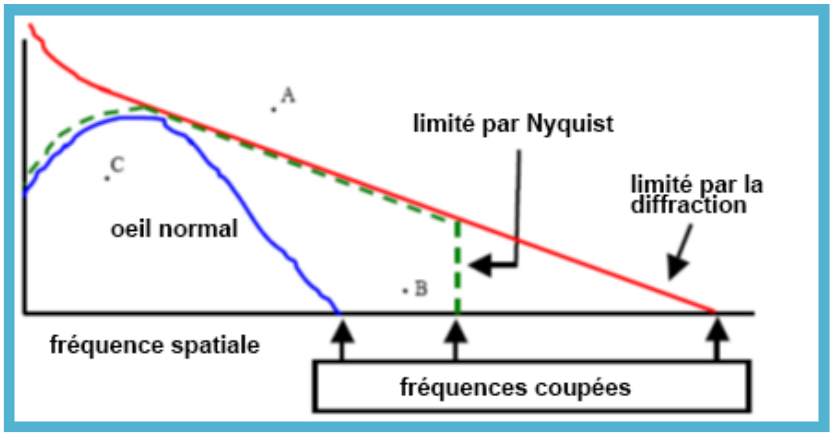

Figure 16-1: *Exemple d'une FTM oculaire et de deux FSC limitées par différents facteurs*

MÉTHODE DE COLLECTE DE DONNÉES

N'importe quel point sur la FSC définit deux paramètres clé qui déterminent la visibilité d'un réseau d'ondes sinusoïdales – son contraste et sa fréquence spatiale (grandeur). Souvenez-vous que les points à l'extérieur de la FSC (Points A et B, Fig. 16-1) correspondent à des réseaux qui ne peuvent pas être perçus par l'œil. Par contre, les points à l'intérieur de la FSC (Point C) sont visibles.

Q. Si les points A et B représentent des objets que la personne ne peut pas voir, qu'est-ce qu'on peut faire pour les rendre visibles?

R. _____

Q. Pouvez-vous donner des exemples sur l'utilité de ces principes pour améliorer l'examen clinique en optométrie?

R. _____

SENSIBILITÉ AU CONTRASTE ET BASSES FRÉQUENCES SPATIALES

Une différence importante entre la FTM et la FSC de l'œil humain est la baisse pour les basses fréquences spatiales. Ceci peut être vu dans la Figure 16-1, qui montre deux FSC et une FTM hypothétiques. Qu'est-ce qui cause une réduction de la sensibilité au contraste en-dessous d'environ 4 cycles/degré? Ceci doit être dû à des facteurs neuronaux et non optiques, puisque la FTM, qui montre uniquement la qualité optique et non le processus neuronal, ne présente pas de baisse pour les basses fréquences.

Une explication possible pour la diminution de sensibilité au contraste pour les basses fréquences est illustrée dans la Fig. 7-14 de Schwartz. Elle montre un **champ récepteur** d'une cellule ganglionnaire, ce qui correspond à la zone dans le champ visuel qui évoque une réponse d'une cellule ganglionnaire.

Ce champ récepteur a une zone centrale excitatrice (signe +) et une zone avoisinante inhibitrice (signe -). Lorsque la lumière tombe dans la zone excitatrice, la vision est stimulée; lorsqu'elle tombe dans la zone inhibitrice, la sensibilité diminue. On appelle ceci l'**inhibition latérale**. La cellule ganglionnaire répond plus fortement lorsque la fréquence spatiale des bandes est telle que la bande blanche est aussi large que la zone excitatrice et la bande

SENSIBILITÉ AU CONTRASTE ET BASSES FRÉQUENCES SPATIALES (SUITE)

noire tombe sur la zone inhibitrice. Des scientifiques ont trouvé que ceci correspond à une fréquence spatiale moyenne d'environ 4 cpd.

Il est à noter par contre, que si les bandes deviennent plus larges (fréquences spatiales plus basses), la partie blanche stimulera en même temps les régions inhibitrice et excitatrice, donc la réponse globale sera diminuée. Ceci peut expliquer la baisse de sensibilité pour les basses fréquences spatiales.

PROPRIÉTÉ D'ANALYSE DE FOURIER DU SYSTÈME VISUEL

Des expériences montrent que le système visuel a des canaux neuronaux qui traitent des fréquences spatiales précises. Ceci est illustré dans la Fig. 7-15 de Schwartz, 2004, qui montre plusieurs courbes étroites sous la FSC. Chaque courbe représente un canal qui est sensible à une petite gamme de fréquences spatiales dans l'image.

Blakemore et Campbell (1969) ont effectué une expérience intéressante pour prouver cela. Ils avaient des sujets qui fixaient des réseaux d'ondes sinusoïdales d'une fréquence spatiale uniquement (par exemple, 6 cpd). Ceci cause une adaptation du système visuel qui devient relativement insensible à cette fréquence spatiale spécifique. Ils ont ensuite mesuré les FSC et le résultat est illustré dans la Fig. 7-16A de Schwartz, 2004.

L'encoche dans la courbe de la FSC montre qu'il y a une réduction de la sensibilité pour une petite gamme de fréquences spatiales autour de 6 cpd. Ceci peut uniquement être expliqué par le fait que le système visuel traite une fréquence spatiale (6 cpd) séparément de toutes les autres.

Q. Et s'il n'y avait pas de canaux spécifiques aux fréquences spatiales et que l'image rétinienne était transmise au cerveau comme étant un tout? Quel serait l'effet sur la FSC de l'adaptation à un réseau d'ondes sinusoïdales?

R. _____

RÉSEAUX D'ONDES CARRÉES

Rappelez-vous que si un réseau d'ondes carrées (Fig. 7-4 de Schwartz) est analysé par Fourier, on trouverait qu'il contient des composantes d'un réseau d'ondes sinusoïdales (Fig. 7-5 de Schwartz). Le spectre complet de Fourier pour un réseau d'onde carré contient un nombre infini d'ondes sinusoïdales et si on les additionne, elles recréeraient parfaitement l'onde carrée. La Figure 7-5 de Schwartz montre uniquement les réseaux d'ondes sinusoïdales pour les plus basses fréquences. En ajoutant des fréquences, le profil devient de plus en plus comme une onde carrée, avec des bords « tranchants ».

Revenons à l'expérience célèbre de Blakemore. Il a observé un résultat très intéressant lors de la fixation d'un réseau d'ondes carrées de 6cpd (au lieu d'un réseau d'ondes sinusoïdales). Le résultat est illustré dans la Figure 7-26B de Schwartz. Il y a maintenant deux encoches dans la FSC, ce qui indique une sensibilité réduite pour 6 et 18 cpd.

BANDES DE MACH

Les expériences de Blakemore et Campbell (1969) fournissent des preuves solides que le système visuel humain fonctionne comme un analyseur de Fourier et traite l'information visuelle selon des canaux de fréquences spatiales séparés.

Les bandes de Mach sont aussi une preuve du traitement de Fourier par le système visuel. Un exemple est illustré dans la Fig. 7-27 de Schwartz, 2004. Le profil de luminance pour le motif de la Fig. 7-17A est montré en B. Remarquez la région claire à gauche, la diminution de luminance au centre et la région sombre à droite. Même si on ne le voit pas dans le profil de luminance réel (B), il y aurait une bande claire étroite à gauche du centre et une bande sombre à droite du centre (C). Ces phénomènes sont les **bandes de Mach** et peuvent être expliqués par le comportement d'analyseur de Fourier du système visuel humain. La Figure 16-2 montre d'autres exemples de bandes de Mach.

PROPRIÉTÉ D'ANALYSE DE FOURIER DU SYSTÈME VISUEL (SUITE)

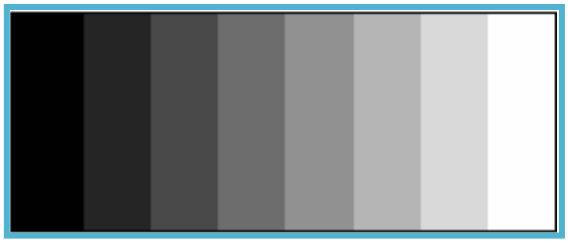

Figure 16-2: *Bandes de Mach*

FILTRAGE SPATIAL NEUROLOGIQUE

Tous les systèmes optiques, incluant l'œil humain, performent des transformations de Fourier de la lumière qui passe à travers le système. La distribution de la lumière dans la pupille est la transformée de Fourier du motif de luminance de l'objet et l'image rétinienne est la transformée de Fourier inverse de la distribution lumineuse de la pupille.

Q. Qu'est-ce qui arriverait à l'image rétinienne si un patient prend de la pilocarpine pour le glaucome et qu'il avait une très petite pupille de 1mm?

R. _____

Comme c'est décrit plus haut, la partie neuronale du système visuel agit aussi comme un analyseur de Fourier. Il analyse l'image rétienne en composantes de fréquences spatiales (réseaux d'ondes sinusoïdales) et sépare les canaux de fréquences spatiales pour les traiter. Le cerveau doit ensuite faire une transformée de Fourier inverse pour réassembler l'image qu'on perçoit.

Supposons qu'une personne a une condition neurologique qui affecte les parties du système visuel qui comportent certaines fréquences spatiales. Dans ce cas-ci, la personne verrait peut-être une image filtrée spatialement du monde. Lorsqu'on prépare des images filtrées par passe-bande, l'image résultante ressemble à un tableau de van Gogh (Fig. 16-3). Vincent van Gogh a eu de nombreux problèmes de santé qui auraient pu affecter son cerveau, incluant l'épilepsie, le trouble bipolaire, l'empoisonnement par l'alcool, l'intoxication à la digitale et autres substances ainsi que la syphilis. Plusieurs ont spéculé qu'il avait une condition visuelle qui affectait sa façon de peindre. À cause de la ressemblance entre quelques-unes de ses œuvres et les images filtrées par passe-bande, van Gogh avait peut-être des neurones endommagés dans le système visuel qui, en effet, filtraient spatialement les images qu'il voyait.

FILTRAGE SPATIAL NEUROLOGIQUE (SUITE)

Figure 16-3: *Autoportraits de van Gogh de 1886 (gauche) et 1888 (droite). Il s'est suicidé en 1890. Le tableau de droite donne l'impression d'avoir été filtré par passe-bande.*

La Figure 16-4 ci-dessous montre une de ces œuvres les plus célèbres « La Nuit étoilée ».

Figure 16-4: *La Nuit étoilée par van Gogh. Tiré du site suivant : http://www.vangoghgallery.com/painting/starryindex.html*

ACUITÉ VISUELLE VERSUS SENSIBILITÉ AU CONTRASTE

Nous avons appris qu'une acuité visuelle en contraste élevé mesure uniquement un point sur la FSC, mais qu'elle ne donne aucune information sur le reste de la vision spatiale. Devrait-on donc arrêter d'utiliser le test d'acuité visuelle Snellen pour tester les FSC de tout le monde avec des réseaux d'ondes sinusoïdales? Cela dépend du but du test visuel. La majorité des patients qui consultent un optométriste ont des erreurs de réfraction non-corrigées et c'est à l'optométriste de corriger le flou optique.

Q. Comment les erreurs de réfraction affectent-elles la vision spatiale?

R. Rappellez-vous que la défocalisation cause une diminution de la sensibilité pour des hautes fréquences spatiales. Donc, la partie de la FSC qui est plus sensible aux erreurs de défocalisation est complètement à droite de la FSC, c'est-à-dire le seuil des hautes fréquences spatiales. Les tests d'acuité visuelle Snellen (grand contraste, petites lettres) est donc une façon utile d'évaluer la qualité de la correction réfractive.

Q. Qu'est-ce qui arriverait si on essayait d'effectuer une réfraction subjective avec un patient myope si on lui présente un réseau d'ondes sinusoïdales de très basse fréquence?

R. Dépendamment de l'amplitude de la défocalisation, il pourrait n'y avoir aucun effet sur les basses fréquences. Donc, que la personne soit corrigée ou non, le réseau aurait la même allure. Ceci serait donc un test insensible à la défocalisation d'un patient myope. Donc dans le but de corriger une erreur de réfraction, il est peu utile de tester pour les basses fréquences spatiales.

D'un autre côté, que faire si le patient se plaint d'une baisse de vision mais qu'il voit 20/20 lorsqu'on teste son acuité? Il ne faut pas ignorer ses symptômes trop rapidement. Peut-être qu'il/elle a une baisse de vision dans une partie autre que le seuil des hautes fréquences de la FSC. Comme il serait insensé de faire une réfraction avec une charte à basses fréquences, il est aussi insensé de tester uniquement les hautes fréquences spatiales pour une condition qui affecte les fréquences moyennes ou basses.

Un exemple de ceci a paru dans un article de l'*American Journal of Ophthalmology*, par Dr. Mark Bullimore (professeur à *The Ohio State University College of Optometry* et ancien rédacteur en chef du journal *Optometry and Vision Science*, le journal scientifique de l'*American Academy of Optometry*.) Voici un extrait du résumé :

Résultats : Douze mois suite à une kératectomie photoréfractive, la meilleure acuité visuelle en contraste élevé corrigée en lunettes avec des pupilles naturelles ne montrait pas de changement significatif par rapport aux valeurs pré-opératoires. … La meilleure acuité visuelle à bas contraste corrigée en lunettes avec des pupilles naturelles était significativement plus basse par rapport au niveau de base. … La perte avec un bas contraste était plus importante lorsque les pupilles étaient dilatées. … Conclusion : Des réductions dans la performance visuelle se produisent suite à une kératectomie photoréfractive avec une zone de 6 mm. … Ces changements sont plus importants pour l'acuité visuelle à bas contraste avec des pupilles dilatées. … La meilleure acuité visuelle à bas contraste corrigée en lunettes est une mesure sensible pour évaluer la performance visuelle après une chirurgie réfractive. (Bullimore MA, Olson MD, Maloney RK. Visual Performance After Photorefractive Keratectomy With a 6-mm Ablation Zone. Am J Ophthalmol 1999;1281-7)

LECTURES RECOMMANDÉES/OUVRAGES DE RÉFÉRENCE

- Schwartz SH. **Visual Perception - A Clinical Orientation, 3rd Edition**. Appleton & Lange, Stamford, Connecticut, 2004
- Blakemore C and Campbell FW. 1969. On the existence of neurons in the human visual system selectively sensitive to the orientation and size of retinal images. Journal of Physiology 203: 237-260.
- Kato N, Toda I, Hori-Komai Y, Sakai C and Tsubota K. **Five-year outcome of LASIK for myopia.** Ophthalmology. 2008;115(5):839-844.
- Alió JL, Piñero D, Muftuoglu O. **Corneal wavefront-guided retreatments for significant night vision symptoms after myopic laser refractive surgery.** American Journal of Ophthalmology. 2008 Jan;145(1):65-74.
- Fernández-Sánchez V, Ponce ME, Lara F, Montés-Micó R, Castejón-Mochón JF, López-Gil N. **Effect of 3rd-order aberrationson human vision.** Journal of Cataract and Refractive Surgery. 2008 Aug;34(8):1339-44